

**KONVERSI CAMPURAN ECENG GONDOK DAN MINYAK KELAPA
SAWIT MENJADI BAHAN BAKAR CAIR DENGAN METODE
PIROLISIS MENGGUNAKAN ZEOLIT-A SEBAGAI KATALIS**

(Skripsi)

Oleh

Ahmad Gilang Arinanda



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

ABSTRAK

KONVERSI CAMPURAN ECENG GONDOK DAN MINYAK KELAPA SAWIT MENJADI BAHAN BAKAR CAIR DENGAN METODE PIROLISIS MENGGUNAKAN ZEOLIT-A SEBAGAI KATALIS

Oleh

Ahmad Gilang Arinanda

Pada penelitian ini, zeolit-A disintesis dari silika sekam padi dan aluminium foil dengan metode hidrotermal. Kristalisasi berlangsung dengan variasi waktu 72, 96, dan 120 jam. Zeolit-A yang disintesis menggunakan variasi waktu kristalisasi disimbolkan dengan Z72, Z96, dan Z120, selanjutnya digunakan sebagai katalis dalam percobaan pirolisis campuran eceng gondok dan minyak kelapa sawit. Karakterisasi katalis dengan XRD mengindikasikan adanya fasa kristalin yaitu zeolit-A dan sodalit serta fasa amorf pada Z72 dan Z96, sedangkan pada Z120 hanya terdapat fasa kristalin sodalit dan fasa amorf. Adanya fasa kristalin dan amorf diperkuat dengan hasil analisis SEM, dan juga menunjukkan ketidakragaman bentuk partikel pada sampel. Analisis PSA menunjukkan ukuran partikel yang beragam (heterogen). Hasil karakterisasi menggunakan FT-IR mengindikasikan bahwa tidak ada perbedaan gugus fungsi pada ketiga sampel tersebut. Uji aktivitas sebagai katalis pirolisis menunjukkan bahwa ketiga sampel mampu mengkonversi biomassa menjadi bahan bakar cair. Berdasarkan jumlah hidrokarbon tertinggi, sampel Z96 merupakan katalis dengan aktivitas terbaik. Analisis GC-MS menunjukkan adanya dua kelompok senyawa yang terdapat dalam sampel dengan kadar hidrokarbon mencapai 99,12%. Hasil fraksinasi dari bahan bakar cair menggunakan katalis terbaik didapatkan fraksi ringan golongan biogasolin dengan kadar 100%.

Kata kunci : Zeolit-A, silika sekam padi, pirolisis, eceng gondok, minyak kelapa sawit, biogasolin.

ABSTRACT

CONVERSION OF MIXED WATER HYACINTH AND PALM OIL INTO LIQUID FUEL BY PYROLYSIS USING ZEOLITE-A AS CATALYST

By

Ahmad Gilang Arinanda

In this study, zeolite-A was synthesized from rice husk silica and aluminium foil using hydrothermal method with varied crystallization time of 72, 96 and 120 hours. The prepared samples, symbolized as Z72, Z96 and Z120, were then used as catalysts in the pyrolysis of mixed water hyacinth and palm oil. Characterization of catalyst using XRD indicates the presence of crystalline phases of zeolite-A and sodalite in Z72 and Z96, whereas in Z120 only sodalite phase was detected. The results of characterization using SEM support the presence of crystalline and amorphous phases, with heterogeneous particle sizes and shapes as also demonstrated by the data from PSA analysis. Characterization using FT-IR showed that there was no differences in the functional groups of three samples. Based on GC-MS analysis, the liquid fuel with the highest hydrocarbon content of 99.12%, was obtained using the Z96 catalyst. Distillation of liquid fuel produced light fraction as pure hydrocarbon with the composition in the biogasoline range (C₆-C₁₄).

Keywords : Zeolite-A, rice husk silica, pyrolysis, water hyacinth, palm oil, biogasoline

**KONVERSI CAMPURAN ECENG GONDOK DAN MINYAK KELAPA
SAWIT MENJADI BAHAN BAKAR CAIR DENGAN METODE
PIROLISIS MENGGUNAKAN ZEOLIT-A SEBAGAI KATALIS**

Oleh

Ahmad Gilang Arinanda

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
SARJANA SAINS

Pada

Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

Judul Skripsi

**: KONVERSI CAMPURAN ECENG GONDOK DAN
MINYAK KELAPA SAWIT MENJADI BAHAN
BAKAR CAIR DENGAN METODE PIROLISIS
MENGUNAKAN ZEOLIT-A SEBAGAI
KATALIS**

Nama Mahasiswa

: Ahmad Gilang Arinanda

No. Pokok Mahasiswa : 1517011125

Jurusan

: Kimia

Fakultas

: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D.
NIP. 195907061988111001

Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si.
NIP. 197212051997032001

**2. Ketua Jurusan Kimia
FMIPA Universitas Lampung**

Dr. Eng. Surlpto Dwi Yuwono, M.T.
NIP. 197407052000031001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: **Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D.**



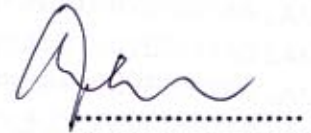
Sekretaris

: **Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si.**



Penguji

Bukan Pembimbing : **Drs. R. Supriyanto, M.S.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Drs. Suratman, M.Sc.

NIP. 196406041990031002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 18 Juni 2019

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Ahmad Gilang Arinanda, lahir di Bandar Lampung pada tanggal 15 Mei 1997. Penulis merupakan anak tunggal dari Ibu Rusminah dan Bapak Hadi Sarwono. Penulis tinggal di Jalan Romowijoyo No.27 RT.10 LK.II, Kelurahan Sawah Brebes, Kecamatan Tanjung Karang Timur, Kota Bandar Lampung .

Penulis menyelesaikan pendidikan mulai dari taman kanak-kanak Al-Hidayat Sawah Brebes pada tahun 2004, Kecamatan Tanjung Karang Timur, Kota Bandar Lampung. SD Negeri 12 Mulyoharjo, Kecamatan Pemalang, Kabupaten Pemalang, Jawa Tengah lulus pada tahun 2009. SMP Negeri 2 Pemalang, Kabupaten Pemalang, Jawa Tengah lulus pada tahun 2012. SMA Perintis 1 Bandar Lampung lulus pada tahun 2015. Penulis melanjutkan ke pendidikan tinggi di Jurusan S1 Kimia FMIPA Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN 2015.

Selain belajar dibangku perkuliahan penulis juga aktif dalam berorganisasi. Organisasi yang pernah diikuti adalah Himpunan Mahasiswa Kimia FMIPA (Himaki) Universitas Lampung sebagai kader muda himaki tahun 2015-2016, anggota Bidang Sosial Masyarakat tahun 2016-2017, dan anggota Bidang Sains dan Penalaran Ilmu Kimia 2017-2018. Penulis juga pernah menjadi Garuda BEM FMIPA Universitas Lampung pada tahun 2015-2016.

Penulis juga pernah mengikuti Unit Kegiatan Mahasiswa English Society (ESo) Universitas Lampung 2015-2017. Penulis juga pernah menjadi asisten untuk praktikum Kimia Dasar 1 dan 2 pada tahun 2017-2018 serta Kimia Fisik pada tahun 2018.



*Puji syukur kepada Allah SWT atas limpahan karunia-Nya,
kupersembahkan karya ini sebagai wujud bakti dan
tanggung jawabku kepada :*

*Kedua orang tuaku,
Ayahanda Hadi Sarwono dan Ibu Rusminah yang
telah mengajarkanku, mendidikku, membimbingku dengan
cinta kasih sayang, memberikan dukungan, motivasi, dan
selalu mendo'akanku.*

*Pembimbing penelitianku, Bapak Prof. Wasinton
Simanjuntak, Ph.D. dan Ibu Dr. Kamisah D. Pandiangan,
M.Si.*

Orang terdekat, sahabat, kerabat, dan teman

Almamater tercinta Universitas Lampung

MOTTO

Speak good words or remain silent
(Sayyidina Muhammad SAW)

*Don't depend too much on anyone in this world because even
your own shadow leaves you when you are in darkness*
(Ibn Taymiyyah)

*Beautiful people are not always good, but good people are
always beautiful*
(Ali bin Abi Tholib RA)

*Barangsiapa tidak mau merasakan pahitnya belajar, ia akan
merasakan hinanya kebodohan sepanjang hidupnya*
(Imam Syafi'i)

Letakkanlah akhlak di atas ilmu
(Ahmad Gilang A)

SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, karunia serta keberkahan kepada hamba-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul **“KONVERSI CAMPURAN ECENG GONDOK DAN MINYAK KELAPA SAWIT MENJADI BAHAN BAKAR CAIR DENGAN METODE PIROLISIS MENGGUNAKAN ZEOLIT-A SEBAGAI KATALIS”**. Shalawat serta salam yang selalu tercurahkan kepada Rasulullah nabi Muhammad SAW, kepada para keluarganya, sahabatnya, serta pengikutnya yang semoga senantiasa istiqomah di jalan-Nya. Semoga di yaumul akhir nanti mendapatkan syafa’atnya. Aamiin. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia FMIPA Unila. Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orangtua penulis yang selalu memberikan semangat, motivasi, dukungan, dan selalu medo’akan untuk menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D. selaku pembimbing pertama penelitian atas segala bimbingan, nasihat, motivasi, bantuan, saran, kesabaran, edukasi dan segala kebaikannya hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Ibu Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si. selaku pembimbing kedua penelitian, atas bimbingan, nasihat, motivasi, bantuan, saran, kesabaran, edukasi, dan

segala kebaikannya yang telah diberikan kepada penulis dalam menyelesaikannya penulisan skripsi ini.

4. Bapak Drs. R. Supriyanto, M.S. selaku pembahas/penguji penelitian atas segala saran, kritik, motivasi, bantuan, inspirasi, dan kesabaran dalam memberikan masukan kepada penulis untuk menyelesaikan penulisan skripsi ini.
5. Bapak Diky Hidayat, M.Sc selaku pembimbing akademik atas segala saran, kesempatan berdiskusi, edukasi, dan motivasinya kepada penulis selama menjalani masa-masa perkuliahan hingga selesai.
6. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono., M.T. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
7. Bapak Dr. Mulyono, Ph.D selaku sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
8. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung atas segala bimbingan, edukasi dan dedikasinya dalam perkuliahan serta yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis.
9. Terimakasih kepada Intan Tsamrotul Fuadah yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan penelitian. Semoga Allah selalu memberikan kebaikan dan keberkahan hidup kepadanya.
10. Tim partner penelitianku Dira Avista, Rizky Gilang Gumelar, Ponco Prasetyo dan Tiara May Rosita atas segala kesabaran kalian, saling mensupport, membantu, mendukung, memotivasi, merasakan susah dan senang, canda dan tawa bersama selama penelitian bersama penulis. Semoga Allah selalu memberikan kebaikan dan keberkahan hidup kepada kalian.

11. Keluarga laboratorium polimer mba Agus, mba Gesa, Nico Hanafi, Faulia Riyanti, Sandi Firdaus, Diska Indah A, Putri Damayanti, dan lainnya yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu terimakasih atas segala bantuannya dalam menemani selama penulis melakukan penelitian.
12. Senior dan junior saya di jurusan Kimia Fmipa Unila : angkatan 2013, 2014, 2016, 2017, dan 2018.

Semoga Allah SWT melimpahkan buah pahala kebaikan atas bantuan yang telah diberikan kepada penulis. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat kekurangan, namun penulis berharap semoga dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya. Aamiin.

Bandar Lampung, 30 Juni 2019
Penulis,

Ahmad Gilang Arinanda

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
 I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Tujuan Penelitian	5
C. Manfaat Penelitian	6
 II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Bahan Bakar Cair	7
B. Pirolisis.....	9
C. Pemanfaatan Bahan Bakar Cair Hasil Pirolisis.....	12
1. Bahan Bakar <i>Boiler</i>	12
2. Produksi Listrik	13
3. Produksi Gas Sintesis	13
4. Bahan Bakar Transportasi	14
D. Eceng Gondok.....	14
E. Minyak Kelapa Sawit.....	17
F. Katalis untuk Pirolisis	18
G. Zeolit-A	21
H. Silika Sekam Padi	24
I. Asap Cair Tempurung Kelapa.....	29
J. Karakterisasi Zeolit-A.....	31
1. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	31
2. <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	34
3. <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA)	36
4. <i>Fourier Transform InfraRed</i> (FTIR)	38
K. Analisis Bahan Bakar Cair	41
1. Analisis <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS)	41
2. Karakteristik Fisik	42

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian	44
B. Alat dan Bahan	45
1. Alat-Alat yang Digunakan.....	45
2. Bahan-Bahan yang Digunakan	45
C. Prosedur Kerja	45
1. Pembuatan Asap Cair	45
2. Preparasi Sekam Padi	45
3. Ekstraksi Silika Sekam Padi	46
4. Pembuatan Zeolit-A.....	47
5. Karakterisasi Sampel	48
a. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	48
b. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	49
c. <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA)	49
d. <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	50
6. Preparasi Sampel Eceng Gondok	50
7. Percobaan Pirolisis.....	51
8. Analisis Bahan Bakar Cair.....	51
a. <i>Gas Chromatography-Mass Spectroscopy</i> (GC-MS).....	52
b. Densitas	53
c. Viskositas	54
d. Titik Nyala (<i>Flash Point</i>)	54

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengantar	56
B. Pembuatan Asap Cair	56
C. Preparasi Sekam Padi	57
D. Ekstraksi Silika Sekam Padi.....	58
E. Pembuatan Zeolit	60
F. Karakterisasi Sampel.....	63
1. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	63
2. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	74
3. <i>Particel Size Analyzer</i> (PSA)	76
4. <i>Fourier Transform InfraRed</i> (FTIR)	79
G. Preparasi Sampel Eceng Gondok	81
H. Percobaan Pirolisis	82
1. Penentuan Suhu Pirolisis dengan Analisis DTA/TGA	82
2. Pembuatan Bahan Bakar Cair.....	84
I. Analisis Bahan Bakar Cair	86
1. <i>Gas Chromatography-Mass Spectroscopy</i> (GC-MS).....	86
J. Fraksinasi Bahan Bakar Cair	93
K. Analisis Fraksi Ringan	94
1. <i>Gas Chromatography-Mass Spectroscopy</i> (GC-MS).....	94
2. Uji Fisik Fraksi Ringan.....	96

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan	97
B. Saran.....	98

DAFTAR PUSTAKA..... 100**LAMPIRAN..... 109**

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi trigliserida dalam minyak kelapa sawit	17
2. Komposisi asam lemak minyak kelapa sawit.....	18
3. Kandungan senyawa pada sekam padi.....	26
4. Kandungan asap cair tempurung kelapa serta titik didihnya	31
5. Data 2 θ zeolit-A referensi IZA serta 2 θ dari Z72 dan Z96	66
6. Data 2 θ <i>Hydroxy-Sodalite</i> referensi IZA serta 2 θ dari Z120	68
7. Data puncak zeolit-A (match) dan Z72.....	69
8. Data puncak sodalit (match) dan Z72	69
9. Data puncak zeolit-A (match) dan Z96.....	70
10. Data puncak sodalit (match) dan Z96	71
11. Data puncak sodalit (match) dan Z120	72
12. Data 2 θ zeolit-A (PCPDF) sebagai referensi serta 2 θ dari Z72 danZ96.....	73
13. Data 2 θ <i>Hydroxy-Sodalite</i> standar (PCPDF) sebagai referensi serta 2 θ dari Z120	74
14. Hasil karakterisasi PSA pada Z72 dan Z96.....	77
15. Hasil karakterisasi PSA pada Z120.....	78
16. Hasil interpretasi spektrum IR Z96 dan Z120.....	81
17. <i>Mass Spectrometry</i> (MS) bahan bakar cair menggunakan katalis Z72.....	87
18. <i>Mass Spectrometry</i> (MS) bahan bakar cair menggunakan katalis Z96.....	89

19. <i>Mass Spectrometry</i> (MS) bahan bakar cair menggunakan katalis Z120.....	91
20. Perbandingan jumlah relatif kandungan senyawa pada ketiga sampel	93
21. <i>Mass Spectrometry</i> (MS) fraksi ringan dari bahan bakar cair menggunakan katalis Z196.....	95
22. Hasil uji fisik fraksi ringan.....	96
23. Standar dan mutu (spesifikasi) bahan bakar minyak jenis bensin 88.....	96

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Tanaman eceng gondok yang menutupi aliran sungai	15
2. Struktur kimia dari zeolit (Haag <i>et al.</i> , 1984)	19
3. Kerangka aluminosilikat dari zeolit-A	22
4. Unit struktural dari zeolit-A (Baerlocher <i>et al.</i> , 2001).....	22
5. <i>Framework</i> dari zeolit-A (Baerlocher <i>et al.</i> , 2001).....	23
6. Sekam padi	27
7. Asap cair tempurung kelapa.....	30
8. Pola difraksi sinar-X oleh padatan	33
9. Asap cair dari tempurung kelapa.....	57
10. (a) Sekam padi bersih dan (b) sekam padi yang telah direndam HNO ₃	58
11. (a) Proses ekstraksi dan (b) sekam padi setelah diekstraksi.....	58
12. (a) Sol silika dan (b) gel silika	59
13. (a) Gel silika sebelum dicuci, (b) gel silika setelah dicuci, (c) silika kering, dan (d) silika kering yang telah dihaluskan.....	60
14. (a) Larutan silika, (b) larutan alumina, dan (d) campuran yang telah dihomogenkan	61
15. Sampel Z72 yang telah disintesis	61
16. Tanur yang digunakan untuk kalsinasi sampel	62
17. Sampel yang telah dikalsinasi (a) Z72, (b) Z96, dan (c) Z120	62

18. Difraktogram sampel (a) Z72 dan (b) Z96	64
19. Difraktogram zeolit-A referensi (IZA).....	65
20. Difraktogram sampel Z120	67
21. Difraktogram sodalit (<i>Hydroxy-Sodalite</i>) referensi (IZA)	67
22. Hasil analisis kualitatif Z72 menggunakan <i>program match!</i>	68
23. Hasil analisis kualitatif Z96 menggunakan <i>program match!</i>	70
24. Hasil analisis kualitatif Z120 menggunakan <i>program match!</i>	71
25. Difraktogram zeolit-A referensi PCPDFwin 1997.....	73
26. Difraktogram sodalit (<i>Hydroxy-Sodalite</i>) referensi PCPDFwin 1997	74
27. Mikrograf hasil analisis (a) Z72, (b) Z96, dan (c) Z120	75
28. Grafik hasil karakterisasi PSA pada Z72 dan Z96.....	76
29. Grafik hasil karakterisasi PSA pada Z120	78
30. Spektrum hasil analisis IR pada Z96 dan Z120	79
31. (a) Eceng gondok kering dan (b) eceng gondok halus.....	81
32. Hasil analisis DTA/TGA biomassa eceng gondok.....	82
33. Rangkaian alat pirolisis (a) reaktor, (b) pipa gas, (c) pengatur suhu (d) termokopel, (e) kondensor, (f) air pendingin, dan (g) botol penampung ..	84
34. Uji nyala gas yang dihasilkan ketika proses pirolisis berlangsung	85
35. Hasil pirolisis menggunakan katalis (a) Z72. (b) Z96, dan (c)120	85
36. Kromatogram bahan bakar cair menggunakan katalis Z72.....	86
37. Grafik jumlah relatif (%) bahan bakar cair menggunakan katalis Z72.....	88
38. Kromatogram bahan bakar cair menggunakan katalis Z96.....	88
39. Grafik jumlah relatif (%) bahan bakar cair menggunakan Z96	90
40. Kromatogram bahan bakar cair menggunakan katalis Z120.....	90
41. Grafik jumlah relatif (%) bahan bakar cair menggunakan katalis Z120.....	92

42. (a) Perangkat fraksinasi dan (b) perbandingan bahan bakar cair sebelum dan setelah fraksinasi	93
43. Kromatogram fraksi ringan dari bahan bakar cair dengan katalis Z96.....	94
44. Mikrograf Z72 (a) perbesaran 5.000x (b) perbesaran 15.000x (c) perbesaran 25.000x (d) perbesaran 30.000x (e) perbesaran 40.000x	116
45. Mikrograf Z72 (a) perbesaran 5.000x (b) perbesaran 10.000x (c) perbesaran 20.000x (d) perbesaran 35.000x	117
46. Mikrograf Z72 (a) perbesaran 5.000x (b) perbesaran 10.000x (c) perbesaran 20.000x (d) perbesaran 35.000x	117
47. Spektrum MS Benzena.....	118
48. Spektrum MS 1-Heksena	118
49. Spektrum MS Sikloheksana	118

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Bahan bakar cair yang paling banyak digunakan untuk transportasi dan kegiatan industri merupakan jenis bahan bakar hasil perengkahan minyak bumi, yang mengandung senyawa hidrokarbon. Kebutuhan bahan bakar cair yang terus meningkat menyebabkan cadangan bahan bakar fosil akan mengalami penurunan dalam beberapa tahun kedepan. Saat ini masyarakat masih mengandalkan bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama, berdasarkan data dari Badan Pengatur Hilir Minyak dan Gas Bumi (2017) konsumsi bahan bakar minyak pada tahun 2016 mencapai 48,6 juta liter dan pada tahun 2017 meningkat mencapai 55,4 juta liter.

Tanpa adanya energi terbarukan Indonesia akan menjadi negara pengimpor bahan bakar minyak, gas, dan batu bara. Pada tahun 2012 pengangkatan minyak bumi mencapai 861 ribu barel dan pada tahun 2017 hanya mencapai 803 ribu barel. Rata-rata penurunan pengangkatan minyak bumi pertahunnya dari tahun 2012 hingga 2017 mencapai angka 1,35% (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia, 2017).

Upaya yang terus dilakukan untuk mengganti bahan bakar fosil adalah dengan pengembangan bahan bakar alternatif yang terbarukan. Salah satu upaya yang

dilakukan yaitu membuat bahan bakar cair dari ketersediaan biomassa dengan menggunakan metode pirolisis yang mampu mengkonversi biomassa tersebut menjadi bahan bakar cair.

Pirolisis pada prinsipnya adalah proses penguraian molekul besar menjadi molekul yang lebih sederhana dengan bantuan panas. Dalam pengembangannya, metode ini dimanfaatkan untuk menghasilkan bahan bakar cair dari biomassa. Kelebihan metode pirolisis yaitu pada metode ini alat yang digunakan sangat sederhana, proses perengkahan yang dilakukan sangatlah singkat dan tidak memerlukan bahan baku yang spesifik sehingga berbagai macam biomassa dapat dijadikan bahan baku pembuatan bahan bakar cair. Senyawa hidrokarbon merupakan salah satu komponen dalam bahan bakar cair hasil pirolisis biomassa yang kemudian dapat diolah lebih lanjut menjadi biogasolin. Biogasolin didapat dari proses destilasi minyak hasil pirolisis menjadi fraksi-fraksi yang diinginkan dengan jangkauan titik didih senyawa yaitu sekitar 40 °C sampai 220 °C yang terdiri dari senyawa karbon C₆ sampai C₁₄.

Salah satu biomassa yang dapat dikonversi menjadi bahan bakar cair yaitu eceng gondok. Eceng gondok (*Eichornia crassipes*) merupakan tumbuhan rawa atau air, yang mengapung di atas permukaan air. Pada ekosistem air, eceng gondok dapat menjadi tanaman pengganggu atau gulma, apabila pertumbuhannya tidak dikendalikan. Pesatnya pertumbuhan eceng gondok ini menimbulkan berbagai masalah seperti terganggunya transportasi air, penyempitan sungai, dan masalah lainnya. Jika dilihat dari kandungannya, dapat diketahui bahwa eceng gondok yang selama ini dianggap gulma

memiliki kandungan hemiselulosa yang tinggi, yaitu sebesar 33%, selulosa 25% dan lignin 10% (Rachmawaty dkk., 2013), karena tingginya kandungan hemiselulosa dan selulosa eceng gondok merupakan tanaman yang dapat dijadikan sebagai sumber pembuatan bahan bakar cair. Kelemahan dari biomassa padat yang dipirolisis yaitu produk cair yang dihasilkan relatif sedikit dan cenderung menghasilkan padatan atau gas, akan menghasilkan cukup banyak zat cair sebagai produk utama apabila bahan baku yang digunakan berupa bahan baku cair. Oleh karena itu, dalam penelitian ini mengkonversi biomassa eceng gondok dengan mencampurkan minyak kelapa sawit, dengan harapan produk cair yang dihasilkan akan meningkat.

Berdasarkan data Statistik Perkebunan Indonesia produksi kelapa sawit nasional di tahun 2016 tercatat sebesar 33,23 juta ton. Produksi ini berasal dari 11,91 juta ha luas areal perkebunan kelapa sawit (Ditjen Perkebunan, 2017). Karena memiliki kelimpahan yang sangat besar dan tidak seluruhnya digunakan dalam industri pangan maka minyak kelapa sawit sangat berpeluang untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan.

Konversi biomassa dengan metode pirolisis akan mendapatkan hasil bahan bakar cair yang maksimum apabila ditambahkan katalis pada proses ini, yaitu seperti zeolit-A. Zeolit-A lebih banyak digunakan dari pada zeolit sintesis lainnya karena lebih mudah terbentuk fasa kristalnya serta memiliki kemurnian yang lebih tinggi dibandingkan dengan zeolit alam, dan zeolit-A memiliki struktur kristal dan ukuran partikel yang seragam (Georgiev *et al.*, 2009).

Silika termasuk salah satu bahan utama yang digunakan untuk membuat zeolit-A. Silika yang akan digunakan untuk membuat zeolit-A dapat diisolasi dari limbah sekam padi yang tidak lagi digunakan oleh para petani, hal ini dapat menjadi solusi untuk mengurangi jumlah limbah sekam padi (Suka dkk., 2009). Sekam padi pada dasarnya memiliki kandungan unsur kimia yang cukup banyak, hasil analisis kimia dari sekam padi menunjukkan komposisi 41,44% karbon, 37,34% oksigen, 14,66% silikon, 0,57% nitrogen, dan unsur-unsur lainnya yang memiliki kandungan di bawah 0,1% (Indian Institute of Science Precipitated Silica Technology, 2008). Silika adalah senyawa anorganik utama dari sekam padi. Komposisi senyawa oksida pada sekam padi yaitu 80-90% SiO_2 , 1-2,5% Al_2O_3 , 0,5% Fe_2O_3 , 1-2% CaO , dan 0,5-2% MgO (Faizul dkk., 2013).

Zeolit-A yang berbahan dasar silika dari limbah sekam padi memiliki daya tarik bagi para peneliti karena selain dapat digunakan sebagai katalis juga penggunaan limbah sekam padi dapat mengurangi limbah sekam yang terus meningkat dikarenakan kenaikan kebutuhan pangan setiap tahunnya. Produksi beras Indonesia pada tahun 2000 sekitar 51 juta ton per tahun dan pada tahun 2015 sekitar 75 juta ton per tahun (FAO, 2017). Produksi padi provinsi lampung pada tahun 2012 mencapai 2,6 juta ton dan pada tahun 2015 mencapai 3,5 juta ton, produksi padi mengalami peningkatan dari tahun 2012-2015 sebesar 6%. Kebutuhan pangan akan terus meningkat di masa depan karena terjadinya peningkatan jumlah populasi (Badan Pusat Statistik Indonesia, 2016).

Seperti halnya penggunaan silika dalam pembuatan zeolit-A, alumina juga sangat dibutuhkan dalam pembuatan zeolit-A. Alumina dapat dihasilkan dari aluminium foil dan mampu digunakan dalam pembuatan zeolit-A karena mengandung logam Al sebesar 99,99 % (Oster, 2015).

Dalam penelitian ini sangat memanfaatkan limbah sekam padi yang digunakan untuk mensintesis zeolit-A sebagai katalis pada proses perengkahan (pirolisis) dan juga memanfaatkan tanaman eceng gondok yang menjadi gulma pada lingkungan serta minyak kelapa sawit yang sangat melimpah di Indonesia, sehingga dapat dihasilkan energi terbarukan yaitu bahan bakar alternatif sebagai pengganti bahan bakar fosil.

B. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mensintesis Zeolit-A dari bahan baku silika sekam padi dan *aluminium foil* dengan metode *hydrothermal*.
2. Mengkarakterisasi sampel zeolit menggunakan XRD, SEM, PSA, dan FTIR.
3. Mengkonversi campuran eceng gondok dan minyak kelapa sawit menjadi bahan bakar cair melalui proses pirolisis menggunakan zeolit-A sebagai katalis.
4. Menganalisis komponen bahan bakar cair yang dihasilkan menggunakan GC-MS serta mengukur viskositas, densitas, dan *flash point* untuk melihat kelayakan sebagai bahan bakar.

C. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Menghasilkan bahan bakar cair sebagai energi alternatif dari biomassa untuk menggantikan energi fosil.
2. Memberikan nilai tambah pada silika sekam padi yang selama ini memiliki nilai ekonomis rendah.
3. Termanfaatkannya eceng gondok yang merupakan tanaman gulma di perairan menjadi bahan bakar cair yang bermanfaat.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair adalah suatu istilah yang cukup umum dari suatu bahan bakar yang memiliki wujud cair. Energi terbarukan berupa bahan bakar cair meliputi tiga jenis yaitu biodiesel, bioetanol, dan bahan bakar cair hasil perengkahan biomassa. Bahan bakar cair hasil perengkahan biomassa memiliki keunggulan karena mudah dikonversi dari suatu biomassa dan tidak memerlukan bahan baku yang spesifik sehingga berbagai macam biomassa dapat dijadikan bahan baku pembuatan bahan bakar cair. Bioetanol merupakan senyawa etanol yang dihasilkan dari gula reduksi dengan metode fermentasi. Bahan baku yang paling banyak digunakan adalah ubi kayu (Collares *et al.*, 2012), jagung (Nicolíć *et al.*, 2010), gandum (Perez *et al.*, 2007), dan sorgum (Herrera *et al.*, 2003). Berdasarkan data referensi pembuatan bahan bakar cair dengan bahan baku tersebut maka harus dipertimbangkan karena bahan baku tersebut merupakan bahan yang sangat dimanfaatkan sebagai bahan pangan oleh masyarakat, sehingga tidak mungkin digunakan secara maksimal dalam industri bioetanol.

Agar teratasinya masalah tersebut, maka pengembangan yang selalu dilakukan adalah dengan memanfaatkan karbohidrat yang berukuran lebih besar,

misalnya pati (Arnata dkk., 2013), selulosa (Samsuri dkk., 2007), dan hemiselulosa. Meskipun secara prinsip masalah dalam mengatasi penggunaan bahan baku dapat terselesaikan, namun dalam praktiknya masih terdapat beberapa kendala dalam produksi bioetanol. Penggunaan karbohidrat non-gula reduksi memerlukan perlakuan hidrolisis untuk mengubah karbohidrat tersebut menjadi gula reduksi yang selanjutnya dapat difermentasi. Proses fermentasi memerlukan mikroba dan substrat tambahan untuk mendukung pertumbuhan mikroba agar menghasilkan enzim yang cukup. Selain itu, fermentasi juga memerlukan waktu yang relatif panjang, yakni mencapai 72 jam untuk menghasilkan bioetanol secara optimal.

Bioetanol hanya dapat dihasilkan dari gula reduksi dengan cara fermentasi sehingga bahan baku terbatas pada pangan yang dapat diubah menjadi gula reduksi, dan bahan baku paling banyak digunakan adalah pati dari beberapa tanaman, misalnya talas (Astuti, 2014) dan ubi kayu (Arnata dkk., 2013).

Produksi biodiesel dapat dilakukan menggunakan metode transesterifikasi (Pandiangnan *et al.*, 2016) memerlukan reaktan lain, yakni alkohol terutama metanol dan etanol untuk mengubah asam lemak dalam minyak nabati menjadi turunannya berupa metil ester atau etil ester. Persaingan antara penggunaan sebagai bahan pangan dan sebagai sumber energi terbarukan juga dihadapi dalam industri biodiesel. Hal ini terjadi karena untuk pembuatan biodiesel, minyak nabati yang digunakan sebagai bahan baku, terutama minyak kelapa dan minyak kelapa sawit (Aristiani, 2016; Meliana, 2015) juga merupakan bahan pangan yang begitu penting dan digunakan juga sebagai

bahan baku untuk industri lain. Sehingga pada proses pembuatan bioetanol dan biodiesel disamping memerlukan waktu yang lama juga dalam aspek ekonomis membutuhkan biaya yang cukup mahal.

Persaingan antara penggunaan sebagai bahan pangan dan sebagai sumber energi terbarukan juga dihadapi dalam industri biodiesel, karena hingga saat ini masih menggunakan minyak kelapa dan minyak kelapa sawit sebagai bahan baku meskipun pemanfaatan minyak nabati non-pangan terus diteliti secara intensif. Kendala lain yang dalam proses pembuatan biodiesel dengan transesterifikasi memerlukan metanol (Padil dan Amir, 2010; Meliana, 2015; Aristiani, 2015), memerlukan asam/basa dan terbentuknya produk samping berupa sabun, serta memerlukan pemisahan produk biodiesel yang dihasilkan dengan katalis.

B. Pirolisis

Perengkahan merupakan sebuah proses untuk memecah molekul besar menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana. Teknik perengkahan ini sudah banyak digunakan sejak lama dalam pengolahan minyak bumi untuk mendapatkan fraksi minyak bumi dengan rentang titik didih yang lebih rendah dari induknya. Salah satu caranya adalah dengan perlakuan termal, yang dikenal juga dengan pirolisis dan berasal dari kata Pyro (*fire/api*) dan Lyo (*loosening/pelepasan*) (Masuda *et al.*, 2001).

Pirolisis adalah proses dekomposisi termokimia dari material organik, yang berlangsung tanpa udara atau oksigen. Pirolisis biomassa umumnya berlangsung pada rentang temperatur 300 °C sampai dengan 600 °C. Produk

dari proses pirolisis ini tergantung dari beberapa faktor diantaranya temperatur pirolisis dan laju pemanasan. Secara umum produk pirolisis dapat diklasifikasi menjadi tiga jenis yaitu:

- a. Produk padat : berupa residu padat yang kaya kandungan karbon (*char*)
- b. Produk cair : berupa (tar, hidrokarbon, dan air)
- c. Produk gas : berupa gas (CO, H₂O, CO₂, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆, C₆H₆ dan lain-lain).

Meskipun belum mencapai tahap industri, produksi bahan bakar cair hasil pirolisis dewasa ini terus diteliti, baik tanpa katalis maupun dengan bantuan katalis. Dengan metode pirolisis tanpa katalis, Jung *et al.* (2008) meneliti pengolahan jerami padi menjadi bahan bakar cair. Dalam penelitian tersebut jerami padi diolah menggunakan reaktor fluida (*fluidized bed reactor*) dengan suhu pirolisis 415-540 °C. Pirolisis jerami padi dihasilkan produk yang optimal pada suhu 440-500 °C. Peneliti yang sama juga mengolah serbuk bambu menjadi bahan bakar cair dengan reaktor yang sama tetapi dengan suhu yang berbeda yakni 350-510 °C, sedangkan produk optimal dihasilkan pada suhu 405-450 °C dan pada serbuk bambu *yield* bahan bakar cair tertinggi 70%. Hasil pirolisis terdiri dari zat cair sebesar 46,36% dan gas sebesar 27%, sisanya adalah tar. Selain pirolisis langsung, pirolisis dengan bantuan katalis juga terus dikembangkan hingga saat ini. Suhu pirolisis sangat berpengaruh terhadap produksi bahan bakar cair, kenaikan suhu pirolisis dapat mengurangi pembentukan gugus karboksil (Simanjuntak *et al.*, 2012).

Dalam praktiknya, proses pemanasan pada pirolisis dikategorikan menjadi tiga cara yaitu *slow pyrolysis*, *fast pyrolysis*, dan *flash pyrolysis*.

a. *Slow Pyrolysis*

Karbonisasi adalah tujuan utama dari proses pirolisis ini, dimana produksi arang adalah tujuannya. Selain itu, pada proses ini juga memungkinkan waktu yang cukup untuk proses pengkondensasian gas menjadi *bio-oil* dan menghasilkan gas yang tidak dapat dikondensasi. Pada saat pirolisis lambat berlangsung, biomassa dipanaskan perlahan dengan tidak adanya oksigen ke suhu yang relatif rendah sekitar kurang dari 400 °C dengan periode waktu yang lama. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa *slow pyrolysis* kurang efisien dalam menghasilkan bahan bakar cair.

b. *Fast Pyrolysis*

Tujuan utama proses ini adalah memaksimalkan produk cair atau *bio-oil*. Biomassa dipanaskan dengan waktu yang cepat sehingga mencapai suhu puncak (pirolisis) sebelum bahan baku terurai. Tingkat pemanasan bisa mencapai 1000 °C dengan laju pemanasan sebesar 10 °C/detik dengan ketentuan bila produk utamanya adalah *bio-oil* maka suhu puncaknya harus dibawah 650 °C. Namun, jika produk berupa gas diinginkan maka suhu puncaknya harus 1000 °C. Karakteristik utama dari *fast pyrolysis* adalah transfer panas dan laju pemanasan yang tinggi, uap waktu tinggal singkat, pendinginan uap, dan aerosol yang cepat untuk menghasilkan bahan bakar cair dalam jumlah besar, yang dapat dicapai dengan mengatur suhu reaksi dengan tepat dan presisi dari suhu reaksi (Chiaramonti *et al.*, 2003; Demirbas, 2002;

Venderbosch and Prins, 2010). Sehingga *fast pyrolysis* sangat tepat digunakan untuk memproduksi bahan bakar cair.

c. *Flash Pyrolysis*

Flash pyrolysis merupakan proses pirolisis yang berlangsung sangat cepat dengan temperatur yang sangat tinggi melebihi temperatur pada *fast pyrolysis* (Chhiti and Kemiha, 2013). *Flash Pyrolysis* menghasilkan proses dengan produksi berupa bahan bakar padat, cair, dan gas mencapai 75% (Demirbas, 2000). Proses pirolisis ini diawali dengan volatilisasi yang cepat dalam suasana inert, dengan laju pemanasan dan suhu reaksi yang tinggi antara 450-1000 °C dan waktu tinggal gas yang sangat singkat yaitu kurang dari 1 detik (Aguado, 2007). Akan tetapi, proses ini memiliki beberapa kekurangan, seperti stabilitas termal yang rendah, padatan tersuspensi dalam zat cair, sifat korosif dari produk cair, peningkatan viskositas akibat pembentukan *char*, pemekatan alkali dalam *char* yang terlarut dalam produk cair, serta produksi air secara pirolitik (Cornelissen *et al.*, 2008). Selain itu, *flash pyrolysis* memerlukan perangkat yang lebih mahal dibandingkan dengan *slow pyrolysis* dan *fast pyrolysis*. Sehingga menimbulkan produksi bahan bakar cair yang terbatas karena *flash pyrolysis* kurang ekonomis.

C. Pemanfaatan Bahan Bakar Cair Hasil Pirolisis

1. Bahan Bakar *Boiler*

Nilai pemanasan dari bahan bakar cair adalah sekitar setengah dari bahan bakar fosil, dan berisi sebagian besar air. *Boiler* atau tungku memerlukan pemanasan awal dengan bahan bakar konvensional (Bridgwater *et al.*, 2000).

Bio-oil membakar lebih bersih dari pada bahan bakar fosil karena memiliki kandungan sulfur dan nitrogen yang rendah (Balat *et al.*, 2009).

2. Produksi Listrik

Produksi listrik lebih banyak dibuat daripada produksi panas karena distribusi dan pemasaran yang mudah. Selama beberapa tahun terakhir banyak mesin diesel telah diuji dengan *bio-oil* (Bridgwater *et al.*, 2002). Hasil yang dilaporkan untuk kinerja mesin dapat berjalan dengan lancar. Namun, terdapat masalah utama yang masih perlu diatasi yaitu sifat asam dari *bio-oil*, dan kecenderungan untuk pembentukan jelaga dan re-polimerisasi, yang menyebabkan viskositas meningkat. Penggunaan *bio-oil* membutuhkan modifikasi dari berbagai bagian mesin, diantaranya yang paling penting adalah pompa bahan bakar, lapisan dan sistem injeksi. Dengan modifikasi ini mesin diesel dapat membuat *bio-oil* diterima sebagai pengganti bahan bakar diesel.

3. Produksi Gas Sintesis

Gas sintesis adalah campuran hidrogen (H_2) dan karbon monoksida (CO) yang biasanya dihasilkan melalui gasifikasi. Gas sintesis kemudian dapat digabungkan dengan turbin atau mesin untuk menghasilkan listrik atau *Fisher-Tropsch* (FT) reaksi mengkonversi gas sintesis yang berasal dari batu bara, metana atau biomassa untuk bahan bakar cair (Qi *et al.*, 2007). Gas sintesis dapat diproduksi dari biomassa langsung, atau dari produk pirolisis.

4. Bahan Bakar Transportasi

Saat ini tampaknya bahwa *bio-oil* yang paling cocok untuk pembakaran stasioner bukan sebagai bahan bakar transportasi. Dimana teknologi ini akan berkembang selama tahun-tahun mendatang, dan dapat menjadi teknologi yang ekonomis ketika harga BBM naik.

D. Eceng Gondok

Eceng gondok merupakan tanaman gulma di air karena pertumbuhannya yang begitu cepat. Karena pertumbuhan yang begitu cepat, maka eceng gondok dapat menutupi permukaan air dan menimbulkan masalah pada lingkungan sekitar. Selain merugikan karena cepat menutupi permukaan air, eceng gondok ternyata begitu bermanfaat karena mampu menyerap bahan pencemar seperti zat organik, anorganik serta logam berat lain yang berada di sekitar tanaman tersebut (Widajanti dkk., 2007). Perkembangbiakan dengan cara vegetatif dapat melipat ganda dua kali dalam waktu 7-10 hari (Gunawan dan Sahwalita, 2007). Soeb and Singh (2000) melaporkan bahwa kecepatan pertumbuhan eceng gondok adalah 17,5 ton/ha/hari, sehingga pemusnahan tumbuhan ini menjadi masalah besar. Padahal dengan proses termal tumbuhan ini dapat menghasilkan *bio-oil*.

Pada Gambar 1 menunjukkan tanaman eceng gondok yang menutupi aliran sungai pada bendungan Kali Akar (Sumur Putri) Kecamatan Teluk Betung Utara Kota Bandar Lampung.



Gambar 1. Tanaman eceng gondok yang menutupi aliran sungai

Enceng gondok merupakan salah satu biomassa yang dapat dikonversi menjadi *bio-oil* melalui proses pirolisis. Hal ini diperkuat oleh Bhattacharya and Kumar (2010) yang mengemukakan bahwa enceng gondok merupakan tanaman bahan bakar bio yang sangat potensial dikembangkan. Hubber *et al.* (2006) juga mengemukakan bahwa lignoselulose dalam biomassa eceng gondok dapat menjadi sumber karbon yang potensial untuk produksi bahan bakar cair terbarukan dan bahan kimia. Sharma *et al.* (2015) mengemukakan bahwa hasil pirolisis eceng gondok berupa arang (*char*), *bio oil*, dan gas.

Kandungan senyawa kimia tanaman eceng gondok sangatlah tergantung pada kandungan unsur hara tempat eceng gondok itu tumbuh, dan sifat daya serap dari tanaman eceng gondok tersebut. Eceng gondok memiliki sifat-sifat yang

baik yaitu seperti dapat menyerap logam-logam berat serta senyawa sulfida, selain itu juga tanaman eceng gondok mengandung protein lebih dari 11,5%. Kandungan kimia serat eceng gondok terdiri atas 25% selulosa, 33% hemiselulosa, dan 10% lignin (Rachmawaty dkk., 2013).

Gerbano dan Siregar (2005) menyebutkan, eceng gondok termasuk *famili Pontederiaceae*. Tanaman ini hidup di daerah tropis maupun subtropis. Eceng gondok merupakan tanaman yang termasuk sebagai gulma perairan yang mampu menyesuaikan diri terhadap perubahan lingkungan. Tempat tumbuh yang ideal bagi tanaman eceng gondok adalah perairan yang dangkal dan berair keruh, dengan suhu berkisar antara 28-30 °C dan kondisi pH berkisar 4-12. Di perairan yang dalam dan berair jernih di dataran tinggi, tanaman eceng gondok ini sulit tumbuh. Tanaman eceng gondok memiliki kemampuan untuk menghisap air dan menguapkannya ke udara melalui proses evaporasi (Hidayat, 1993).

Terdapat beberapa kemungkinan untuk mengolah eceng gondok, yang paling menarik adalah mengolah eceng gondok menjadi gas metana dengan menggunakan metode *anaerobic digestion* (Shilapour and Smith, 1984; Shankar and Tondon, 1986; Teherruzan and Kushani, 1989). Eceng gondok dapat dimanfaatkan dalam produksi biogas karena mempunyai kandungan hemiselulosa yang cukup tinggi dibandingkan dengan komponen organik tunggal lainnya. Hemiselulosa adalah senyawa polisakarida kompleks yang merupakan campuran polimer dan jika dihidrolisis menghasilkan produk campuran turunan yang dapat diolah dengan metode *anaerobic digestion*

untuk menghasilkan dua senyawa campuran sederhana berupa metan dan karbon dioksida yang biasa disebut biogas (Ghosh *et al.*, 2006). Menurut Malik (2006) eceng gondok mengandung 95% air dan menjadikannya terdiri dari jaringan yang berongga, mempunyai energi yang tinggi, terdiri dari bahan yang dapat difermentasi dan berpotensi sangat besar dalam menghasilkan suatu biogas (Chanakya *et al.*, 1993 in Gunnarsson and Cecilia, 2006).

E. Minyak Kelapa Sawit

Minyak kelapa sawit seperti umumnya minyak nabati lainnya merupakan senyawa yang tidak larut dalam air, sedangkan komponen penyusunnya yang utama adalah trigliserida dan nontrigliserida. Trigliserida pada minyak kelapa sawit sama seperti halnya pada lemak dan minyak lainnya, minyak kelapa sawit terdiri atas trigliserida yang merupakan ester dari gliserol dengan tiga molekul asam lemak. Berikut ini adalah Tabel 1 dari komposisi trigliserida dan Tabel 2 komposisi asam lemak dari minyak kelapa sawit.

Tabel 1. Komposisi trigliserida dalam minyak kelapa sawit

Trigliserida	Jumlah(%)
Tripalmitin	3-5
Dipalmito-Stearine	1-3
Oleo-Miristopalmitin	0-5
Oleo-Dipalmitin	21-43
Oleo-Palmitostearine	10-11
Palmito-Diolein	32-48
Stearo-Diolein	0-6
Linoleo-Diolein	3-12

Tabel 2. Komposisi asam lemak minyak kelapa sawit

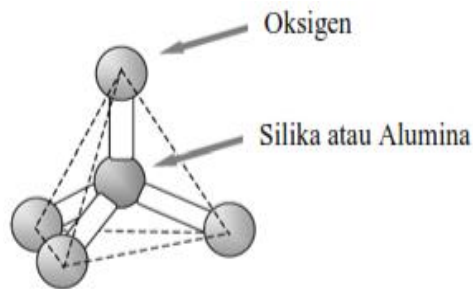
Asam Lemak	Jumlah(%)
Asam Kaprilat	-
Asam Kaproat	-
Asam Miristat	1,1-2,5
Asam Palmitat	40-46
Asam Stearat	3,6-4,7
Asam Oleat	30-45
Asam Laurat	0
Asam Linoleat	7-11

Sumber: Ketaren, 2008.

F. Katalis untuk Pirolisis

Pirolisis dikenal juga dengan perlakuan metode termal dengan menggunakan suhu tinggi dan salah satu yang sedang dikembangkan adalah dengan menggunakan katalis. Berbagai jenis katalis telah dikembangkan antara lain zeolit-A (Arnelli *et al.*, 2018), zeolit-X (Pandiangnan *et al.*, 2017) zeolit HZSM 5 (Vitolo *et al.*, 2001), katalis α -alumina (Wijanarko dkk., 2006) dan aluminium silikat (Twaiq *et al.*, 2003) yang dapat disintesis menggunakan metode elektrokimia (Simanjuntak *et al.*, 2013). Dari berbagai katalis yang telah dikembangkan, zeolit merupakan jenis katalis yang paling banyak dimanfaatkan. Zeolit berasal dari kata “*zeinlithos*” yang memiliki arti batuan berbuih. Zeolit merupakan suatu mineral aluminosilikat terhidrasi dengan struktur kristal berongga yang mengandung ion-ion logam dan molekul air. Ion logam dan molekul air tersebut dapat bergerak bebas sehingga terjadi pertukaran ion dan dehidrasi yang reversibel tanpa perubahan bentuk. Zeolit terdiri dari SiO_4 dan Al_2O_3 tetrahedral yang saling berhubungan melalui 4 anion oksigen dan menyebar mengelilingi ion Si dan ion Al.

Struktur dari zeolit ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur kimia dari zeolit (Haag *et al.*, 1984)

Katalis seperti zeolit memiliki beberapa sifat dan karakteristik sebagai berikut:

1. Dehidrasi

Sifat dehidrasi ini akan berpengaruh terhadap sifat adsorpsinya. Zeolit mampu melepaskan suatu molekul air dari dalam rongga permukaannya. Jumlah sebuah molekul air sesuai dengan jumlah pori-pori atau volume ruang hampa yang akan terbentuk bila unit sel kristal zeolit tersebut dipanaskan.

2. Penukar ion

Kenetralan zeolit oleh ion-ion pada rongga atau kerangka elektrolit. Ion-ion ini dapat bergerak bebas sehingga penukaran ion yang terjadi tergantung dari ukuran dan muatan maupun jenis zeolitnya. Sifat zeolit sebagai penukar ion tergantung dari sifat kation, suhu, dan jenis anion.

3. Adsorpsi

Bila zeolit dipanaskan pada suhu 200-400 °C, maka kandungan air akan menguap sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan.

Terdapat beberapa jenis mineral zeolit yang mampu menyerap gas sebanyak

30% dari beratnya dalam keadaan kering. Zeolit dapat memisahkan molekul zat berdasarkan ukuran dan kepolarannya.

4. Katalisator

Zeolit merupakan katalisator yang baik karena mempunyai pori-pori yang besar dengan permukaan yang luas dan memiliki sisi aktif dengan adanya rongga intrakristalin zeolit yang digunakan sebagai katalis. Reaksi katalitik dipengaruhi oleh ukuran rongga dan sistem alur karena reaksi ini tergantung pada difusi pereaksi dan hasil reaksi. Zeolit perlu diaktifkan terlebih dahulu sebelum digunakan, untuk mempertinggi daya kerjanya. Pengaktifan suatu zeolit dapat dilakukan melalui beberapa cara antara lain :

a. Pengaktifan dengan pemanasan

Pengaktifan zeolit dengan pemanasan bertujuan untuk menghilangkan air atau garam pengotor dari dalam rongga-rongga kristal zeolit. Menurut Barrer (1982) aktivasi pemanasan yang terlalu tinggi akan menyebabkan terjadinya dehidroksilasi gugus OH pada struktur zeolit. Pemanasan dengan suhu tinggi dapat merubah bentuk fasa dari suatu material (Sembiring *et al.*, 2016).

Kestabilan suatu zeolit terhadap temperatur tergantung pada jenis kandungan mineral zeolit itu sendiri (perbandingan Si dengan Al dan kation yang terdapat dalam zeolit). Umumnya zeolit dengan silika mempunyai kestabilan yang lebih besar (Saputra, 2006).

b. Pengaktifan dengan pengasaman

Aktivasi zeolit secara kimia bertujuan untuk membersihkan permukaan pori dan membuang senyawa pengotor. Proses aktivasi suatu zeolit dengan asam

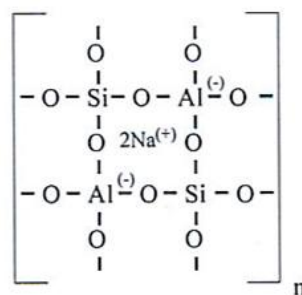
dapat meningkatkan kristalinitas, keasaman, dan luas permukaan. Secara umum konsentrasi larutan asam serta jenis asam yang dipergunakan di dalam aktivasi akan mempengaruhi sifat pertukaran dan struktur kristal dari mineral zeolit (Sarno, 1983).

Zeolit memiliki ciri paling khusus yaitu adanya ruang kosong yang di dalamnya membentuk saluran. Jika zeolit digunakan dalam proses katalisis maka akan menyebabkan difusi molekul ke dalam ruang bebas antar kristal dan reaksi kimia pada permukaan saluran. Menurut proses pembentukannya, zeolit dapat digolongkan menjadi dua jenis, yaitu zeolit alam dan zeolit sintetik.

G. Zeolit-A

Sifat dan penggunaan zeolit-A sedang dieksplorasi dalam banyak disiplin ilmu seperti ilmu kimia anorganik modern, kimia fisik, kimia koloid, biokimia, mineralogi, geologi, kimia permukaan, oseanografi, kristalografi, katalisis dan dalam semua jenis teknologi proses rekayasa kimia. Zeolit-A banyak digunakan dalam berbagai aplikasi termasuk pemisahan dan pemulihan hidrokarbon parafin normal, katalisis reaksi hidrokarbon, pengeringan pendingin, pemisahan komponen udara, katalis dalam proses pengawetan plastik dan karet, memulihkan ion radioaktif dari larutan limbah radioaktif, menghilangkan karbon dioksida dan senyawa sulfur dari gas alam, pengambilan sampel udara pada ketinggian dan pembuangan polutan atmosfer seperti belerang dioksida (Breck, 1984).

Secara struktural zeolit-A terbentuk dari kerangka aluminosilikat yang memiliki struktur tiga dimensi tanpa batas pada jaringan AlO_4^- dan SiO_2 tetrahedral yang terhubung satu sama lain dengan membagikan semua oksigen. Rumus kimia dari zeolit untuk sel satuan kristalografi adalah $\text{M}_{2/n}\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ (Breck, 1984). Kerangka aluminosilikat dari zeolit A ditunjukkan pada Gambar 3 (Auerbach *et al.*, 2003).



Gambar 3. Kerangka aluminosilikat dari zeolit-A

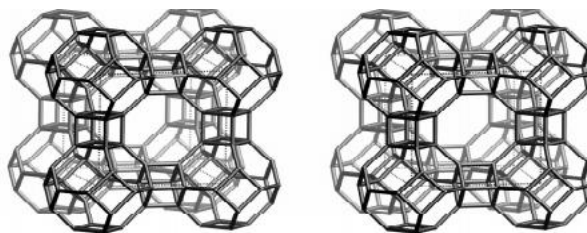
Zeolit-A merupakan zeolit yang termasuk ke dalam *Framework Linde Type A* (LTA) dengan rumus molekul $\text{Na}_n \cdot \text{Al}_n \cdot \text{Si}_n \cdot \text{O}_{(4n)} \cdot (2,25n)\text{H}_2\text{O}$ (Mostafa *et al.*, 2011), yang mempunyai struktur pori 3 dimensi dengan pori yang tegak lurus satu dengan yang lainnya pada bidang x, y, dan z. Zeolit-A dibuat dari *Composite Building Units* (CBU) yaitu unit 4-4, CBU dari zeolit-A adalah D4R yang ditunjukkan seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Unit struktural dari zeolit-A (Baerlocher *et al.*, 2001)

Zeolit-A terdiri dari kesatuan mata rantai sangkar sodalit yang berikatan membentuk cincin ganda beranggota empat yang dihubungkan dengan atom oksigen. Ketika dilakukan penyusunan sangkar-sangkar sodalit tersebut, masing-masing sangkar dihubungkan dengan cincin beranggotakan 8 yang disebut jendela (*window*) dan membentuk (*cavity/cage*) yang merupakan sangkar alpha. Diameter porinya sebesar 0,3-0,45 nm.

Zeolit-A mempunyai simetri kubik dengan panjang sisi unit sel sebesar 24,6 Å dan termasuk dalam simetri FM3C (Auerbach *et al.*, 2003). Sel satuan adalah sel terkecil yang masih menunjukkan system kristalnya. *Framework* dari zeolit-A ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. *Framework* dari zeolit-A (Baerlocher *et al.*, 2001)

Zeolit-A terbentuk dalam kondisi hidrotermal (Rios *et al.*, 2009; and Alkan *et al.*, 2005) dan metode hidrotermal memiliki kelebihan yaitu dapat menghasilkan partikel dengan kristalinitas yang tinggi (Lee *et.al.*, 1991). Penambahan NaOH dalam sintesis zeolit tidak hanya bekerja sebagai reagen dan *mineralizer* tetapi NaOH juga dapat bekerja sebagai materi pendukung (*metalizer*), karena pada struktur zeolit-A terbentuk muatan negatif berlebih pada ion Al sehingga dibutuhkan kation-kation pendukung diluar rangka untuk menetralkannya. *Mineralizer* adalah suatu senyawa yang ditambahkan

pada larutan encer untuk mempercepat proses kristalisasi dengan cara meningkatkan kemampuan melarutnya, sehingga yang biasanya tidak dapat larut dalam air dengan menambahkan *mineralizer* dapat menjadi larut. NaOH memiliki kemampuan meningkatkan melarutnya sehingga dapat digunakan sebagai *mineralizer* (Schubert and Housing, 2000). Proses hidrogel zeolit umumnya disintesis dari natrium gel aluminosilikat yang disiapkan dari berbagai rasio silika dan alumina sebagai bahan baku (Breck, 1984). Gel-kristal akan membentuk kristal pada sistem hidrotermal tertutup pada suhu yang bervariasi, dari suhu kamar hingga suhu sekitar 175 °C.

Terbentuknya kristal zeolit-A dapat melalui tiga tahap, yaitu padatan amorf, larutan, dan kristal. Fasa padatan amorf merupakan tahap dimana larutan yang dibuat dari campuran reaktan masih bersifat sangat jenuh. Fasa larutan merupakan fasa dimana reaktan-reaktan larut dalam mineralizer sehingga reaktan-reaktan dapat bereaksi dan membentuk *framework* zeolit sesuai dengan perbandingan Si/Al reaktan. Sedangkan fasa kristal merupakan fasa dimana produk zeolit telah terbentuk karena pengaruh temperatur.

H. Silika Sekam Padi

Sekam padi merupakan limbah penggilingan padi yang mengandung silika dengan kadar yang tinggi yaitu berkisar 95% (Siriluk and Yuttapong, 2005). Tanaman padi merupakan kebutuhan bahan pokok terbesar bagi masyarakat. Pada penggilingan padi dihasilkan sekam sebanyak 20-30%, dedak 8-12%, dan beras 52% dari bobot awal (Hsu and Luh, 1980). Sekam akan terpisah

dari butiran beras dan menjadi bahan sisa atau limbah penggilingan. Pada bidang industri, sekam padi dapat dimanfaatkan sebagai berikut :

1. Sumber Silika

Sekam padi merupakan salah satu sumber silika yang cukup tinggi yaitu sekitar 20%. Sumber silika lain yaitu pasir, bentonit, dan tanah. Silika dari sekam padi mempunyai keuntungan yaitu jumlah elemen pengotor yang tidak diinginkan sangat sedikit dibandingkan jumlah silika yang diperoleh.

2. Pemurnian Air

Sekam padi dapat dimanfaatkan untuk menjernihkan air melalui proses filtrasi atau penyaringan partikel, koagulasi, dan adsorpsi. Karbon yang terkandung dalam sekam padi berfungsi sebagai koagulan pembantu dengan menyerap atau menurunkan logam-logam pada air yang tercemar.

3. Bahan Bakar

Salah satu metode yang umum dan sering digunakan pada proses akhir pengolahan sekam padi yaitu pembakaran. Sekam padi yang dibakar secara langsung dapat meneruskan aliran uapnya dan digunakan di dalam generator untuk menghasilkan tenaga penguat dengan minyak yang memiliki nilai bahan bakar.

4. Bahan Bangunan

Dalam bidang bangunan sekam padi dapat dimanfaatkan sebagai pengerasan balok, batu bata, dan ubin (Widowati, 2001). Hasil penelitian Sharma *et al.* (1984) menunjukkan bahwa dalam sekam padi mengandung silika dengan kadar sekitar 22%, dan komponen lain seperti disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Kandungan senyawa pada sekam padi

Komposisi	Kandungan (% Berat)
Senyawa-senyawa organik	73,87
Al ₂ O ₃	1,23
Fe ₂ O ₃	1,28
CaO	1,24
MgO	0,21
SiO ₂	22,12
MnO ₂	0,074

Sumber: Sharma *et al.*, 1984.

Sekam padi merupakan salah satu sumber silika yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan zeolit sintetis, Gambar 6 menunjukkan sekam padi yang tidak digunakan lagi. Potensi ini juga didasarkan pada pemanfaatannya yang luas sebagai bahan baku pembuatan material silika dalam industri. Silika telah dimanfaatkan untuk material komposit (Suka dkk., 2009), dan zeolit sintetis (Prasetyoko dan Putro, 2007). Suka dkk. (2008) telah berhasil mengkarakterisasi sekam padi dari Provinsi Lampung dengan metode ekstraksi. Karakterisasi dengan FTIR, muncul puncak Si—OH, dan Si—O—Si yang menunjukkan adanya gugus fungsi siloksan, yang mengindikasikan adanya SiO₂ pada padatan tersebut yang dihasilkan dari ekstraksi sekam padi. Sifat silika ini juga didukung hasil karakterisasi menggunakan XRD, yang menunjukkan bahwa silika adalah amorf dengan fasa kristobalit.

Sekam padi yang diekstraksi memiliki kadar silika 40,8% dengan kemurnian sekitar 95,53%.



Gambar 6. Sekam padi

Metode untuk memperoleh silika dari sekam padi yang umum adalah metode sol-gel. Metode ini melibatkan ekstraksi kimia silika menggunakan larutan alkali seperti NaOH atau KOH, dengan memanfaatkan kelarutan silika dalam larutan alkali. Filtrat (silika sol) kemudian diasamkan dengan menggunakan asam mineral kuat, seperti HCl, HNO₃ atau H₂SO₄ untuk membawa sol ke dalam kondisi netral, di mana silika diubah dari sol menjadi gel. Meskipun asam mineral kuat sangat efektif dalam pembuatan gel silika akan tetapi, asam mineral kuat relatif mahal dan berbahaya bagi lingkungan. Hal ini dikarenakan air yang digunakan untuk mencuci gel pada akhirnya akan dibuang sebagai air limbah korosif ke lingkungan sekitar, dan akan menyebabkan masalah pada pembuangan limbah tersebut.

Berdasarkan studi yang telah dilakukan oleh Simanjuntak *et al.* (2016) asap cair dapat menggantikan asam mineral kuat untuk produksi silika dari sekam padi melalui metode sol-gel. Asap cair memiliki keasaman yang cukup karena terdapat senyawa fenol, karbonil, dan asam organik lain di dalamnya. Oleh

karena itu, dapat digunakan untuk menetralkan basa silika, sama halnya seperti asam mineral kuat. Keunggulan dari asap cair adalah sebagai agen yang dapat digunakan dalam pembentukan gel silika yang lebih ramah lingkungan dari asam mineral kuat.

Hasil karakterisasi perbandingan silika yang diperoleh dalam penggunaan asam mineral kuat seperti HNO_3 dengan asap cair telah dilaporkan oleh Simanjuntak *et al.* (2016), silika sekam padi yang digelkan dengan asap cair memiliki kualitas silika (SiO_2) yang lebih baik. Hal ini dapat dilihat dari hasil karakterisasi perbandingan silika yang telah diperoleh menggunakan alat SEM dan PSA.

Hasil analisis SEM menunjukkan bahwa silika dari sekam padi yang diproduksi dengan penambahan asap cair memiliki homogenitas yang tinggi atau memiliki distribusi ukuran partikel yang sama besarnya dibandingkan dengan penambahan menggunakan asam mineral kuat seperti HNO_3 yang memiliki homogenitas yang rendah. Ukuran partikel yang sama besarnya (homogen) menentukan kualitas dari suatu material padat tersebut, dan semakin kecil ukuran pada material padat juga sangat menentukan kualitas dari material tersebut.

Hasil analisis menggunakan PSA menunjukkan bahwa ukuran partikel dari silika yang diproduksi dengan penambahan asap cair memiliki ukuran diameter partikel yang lebih kecil yaitu sebesar 194-680 nm sedangkan dengan penambahan asam mineral kuat seperti HNO_3 memiliki ukuran diameter partikel sebesar 1142-3714 nm. Semakin kecil ukuran partikel suatu

material maka semakin baik material tersebut. Pada kedua silika yang diproduksi dengan penambahan HNO_3 atau asap cair, kedua produk tersebut sama-sama mengandung silika (SiO_2) yang dapat dibuktikan dengan analisis gugus fungsi menggunakan alat FTIR dan analisis kristalinitas menggunakan alat XRD.

Hasil analisis menggunakan alat FTIR menunjukkan bahwa kedua produk memiliki *peak* pada bilangan gelombang 3452 cm^{-1} yang menunjukkan adanya *stretching vibration* dari gugus hidroksil (—OH) dari silanol Si—OH , dan keberadaan silanol (Si—OH) didukung oleh kemunculan *peak* yang lemah pada bilangan gelombang 960 cm^{-1} . Keberadaan molekul air yang teradsorpsi didukung oleh munculnya *peak* pada bilangan gelombang 1636 cm^{-1} . Adanya ikatan Si—O—Si atau siloksan terindikasi dengan kemunculan 3 *peak* yaitu pada bilangan gelombang 1082, 798, dan 457 cm^{-1} . Terindikasi adanya silika (SiO_2) pada kedua produk tersebut telah didukung oleh analisis XRD.

Difraktogram dari kedua produk dapat diidentifikasi keberadaan SiO_2 yang memiliki fasa amorf dikarenakan munculnya *peak* pada $2\theta = 21.6^\circ$ (PDF-27-1615).

I. Asap Cair Tempurung Kelapa

Asap cair memiliki kemampuan untuk mengawetkan bahan makanan karena distilat asap atau asap cair tempurung mengandung lebih dari 400 komponen dan memiliki fungsi sebagai penghambat perkembangan bakteri dan cukup aman sebagai pengawet alami antara lain asam, fenolat, dan karbonil. Seperti yang dilaporkan Darmadji dkk., (1996) yang menyatakan bahwa pirolisis

tempurung kelapa menghasilkan asap cair dengan kandungan senyawa fenol sebesar 4,13%, karbonil 11,3%, dan asam 10,2%.

Asap cair tempurung kelapa *grade 2* memiliki warna yang lebih kekuningan jika dibandingkan dengan asap cair tempurung kelapa *grade 3*, namun sedikit lebih pekat kuningnya dari pada asap cair tempurung kelapa *grade 1* (Yulistiani, 2008). Perbedaan asap cair tempurung kelapa *grade 1*, *grade 2* dan *grade 3* ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Asap cair tempurung kelapa

Asap cair *grade 2* tidak terlalu berbeda dengan *grade 1* untuk kadar fenol, karbonil, dan asamnya. Pada asap cair *grade 2* dan *grade 1* untuk kadar tar dan benzo(a)pirena sudah tidak ada, hal ini dikarenakan pada saat destilasi dengan suhu 250 °C senyawa benzo(a)pirena dan tar tidak ikut menguap karena titik didih kedua senyawa tersebut berada di atas 250 °C. Kandungan asap cair tempurung kelapa ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kandungan asap cair tempurung kelapa serta titik didihnya

Senyawa	Titik didih (°C, 750 mmHg)
Fenol	
-Guaikol	205
-4-metilguaikol	211
-Eugenol	244
-Siringol	267
-Furfural	162
-Pirokatekol	240
-Hidrokuinon	285
-Isoeugenol	266
Karbonil	
-Glioksal	51
-Metilglioksal	72
-Glikoaldehid	97
-Diasetil	88
-Formaldehid	21
Asam	
-Asam Asetat	118
-Asam Butirat	162
-Asam Propionat	141
-Asam Isovalerat	176

Sumber: Himawati, 2010

J. Karakterisasi Zeolit-A

1. *X-Ray Diffraction (XRD)*

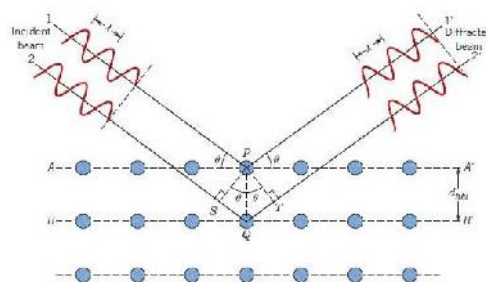
Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) bertujuan untuk mengidentifikasi fasa suatu katalis dan untuk menentukan sifat kristal atau kristalinitas dari suatu katalis. Kebanyakan dari katalis berbentuk padatan kristal seperti oksida logam, zeolit, dan logam yang berpenyangga. XRD menjadi teknik yang cukup handal dan mendasar untuk mengevaluasi sifat-sifat fasa kristal dan ukuran kristal (Leofanti *et al.*, 1997). Gougazeh and Buhl (2014) telah

melaporkan hasil sintesis dan karakterisasi zeolit-A berbahan dasar kaolin yang mengandung silika (SiO_2) menggunakan metode hidrotermal. Sintesis zeolit-A dilakukan dengan mencampurkan metakaolin yang secara terpisah dengan larutan NaOH berbagai konsentrasi 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; dan 4,0 M. Sampel awalnya diaduk lembut selama 10 menit pada suhu kamar untuk homogenisasi. Rasio padat/cair metakaolin ke larutan alkali adalah 1,0 g / 25 ml. Campuran disiapkan secara terpisah dengan pengadukan lembut dan kemudian didistribusikan di antara jumlah autoklaf yang dibutuhkan. Autoklaf disimpan dalam oven konvensional pada 100°C selama 20 jam pada tekanan *autogenous*. Produk yang disintesis kemudian dicuci dengan air suling sebanyak tiga kali dan kemudian dikeringkan 80°C selama 24 jam.

Hasil karakterisasi menggunakan XRD menunjukan bahwa zeolit yang disintesis menggunakan konsentrasi 1,0 M NaOH tidak memiliki zat pengotor *Hydroxysodalite* (HS). Sedangkan pada konsentrasi 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; dan 4,0 M terdapat zat pengotor *Hydroxysodalite* (HS). Berdasarkan data yang ditunjukkan bahwa semakin meningkat konsentrasi NaOH maka semakin meningkat zat pengotor *Hydroxysodalite* (HS) yang dihasilkan. Difraktogram hasil karakterisasi menggunakan alat XRD pada masing-masing produk yang dihasilkan berdasarkan variasi konsentrasi telah dicocokkan dengan puncak zeolit-A komersial pada nilai 2θ sekitar $7,2^\circ$; $10,3^\circ$; $12,6^\circ$; $16,2^\circ$; $21,8^\circ$; 24° ; $26,2^\circ$; $27,2^\circ$; 30° ; $30,9^\circ$; 31° ; $32,6^\circ$; $33,4^\circ$; dan $34,3^\circ$ yang dilaporkan oleh Treacy and Higgins (2001).

Pada analisis menggunakan XRD, kristal katalis memantulkan sinar-X yang dikirimkan dari sumber dan diterima oleh detektor. Sinar-X yang mengenai suatu bahan akan dipantulkan sehingga menghasilkan spektrum pantulan yang spesifik dan berhubungan langsung dengan kisi kristal yang dianalisis. Pola difraksi dikelompokkan berdasarkan intensitas *peak* yang menyatakan peta parameter kisi kristal atau indeks Miller (*hkl*) sebagai fungsi 2θ , dimana θ menyatakan sudut difraksi berdasarkan persamaan Bragg (Richardson, 1989). Pada persamaan interpretasi Hukum Bragg dilakukan berdasarkan asumsi bahwa permukaan dari mana sinar X dipantulkan adalah datar.

Hukum Bragg diturunkan berdasarkan karakteristik difraksi sinar-X oleh suatu zat, seperti ditunjukkan dalam Gambar 8 di bawah ini.



Gambar 8. Pola difraksi sinar-X oleh padatan

Jika seberkas sinar-X dikenai pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang yang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor, kemudian diterjemahkan sebagai puncak difraksi. Semakin banyak bidang kristal yang sama terdapat dalam sampel, semakin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkan. Tiap puncak yang muncul pada pola

XRD mewakili satu puncak bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Pada persamaan interpretasi Hukum Bragg dilakukan berdasarkan asumsi bahwa permukaan dari mana sinar X dipantulkan adalah datar.

$$\lambda = 2d \sin \theta$$

Dimana d menyatakan jarak antar lapisan atom atau ion yang berdekatan, λ yang menyatakan panjang gelombang radiasi sinar-X, dan n adalah urutan pantulan. Kristalinitas dapat juga ditentukan dengan XRD melalui perbandingan intensitas atau luasan *peak* sampel dengan intensitas atau luasan *peak* standar yang ditunjukkan pada persamaan :

$$\text{Kristalinitas} = \frac{\text{Intensitas Peak hkl Sample}}{\text{Intensitas Peak hkl Standar}} \times 100\%$$

Lebar *peak* XRD merupakan fungsi dari ukuran partikel, maka ukuran kristal (*crystallite size*) dinyatakan dalam persamaan Scherrer berikut (Richardson, 1989):

$$\text{Crystallite Size} = \frac{K\lambda}{(B^2 - b^2)^{1/2} \cos(\theta/2)}$$

Dimana $K=1.000$, B adalah lebar *peak* untuk jalur difraksi pada sudut 2θ , b adalah *Instrument peak broadening* ($0,1^\circ$), dan λ adalah panjang gelombang pada $0,154 \text{ nm}$ (Wolfovich *et al.*, 2004; Richardson, 1989).

2. Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Elektron Microscope (SEM) merupakan mikroskop elektron yang banyak digunakan dalam ilmu pengetahuan material. Elektron didefisasikan

atau diemisikan menghasilkan gambar pada tabung sinar katoda. Perbesaran 20.000-50.000 kali dilakukan dengan resolusi sebesar 5 nm. SEM merupakan alat yang baik digunakan untuk mempelajari topografi secara keseluruhan. Keterbatasan resolusi membuat teknik terbatas bagi kristal yang lebih besar daripada 5 nm. Untuk mengetahui morfologi senyawa padatan dapat digunakan alat SEM. SEM adalah suatu tipe mikroskop elektron yang menggambarkan permukaan sampel melalui proses *scan* dengan menggunakan pancaran energi yang tinggi dari elektron dalam suatu pola *scan*. Elektron berinteraksi dengan atom-atom yang membuat sampel menghasilkan sinyal yang memberikan informasi mengenai permukaan topografi sampel. Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada cahaya. Cahaya hanya mampu mencapai 200 nm sedangkan elektron bisa mencapai resolusi sampai 0,1- 0,2 nm (Nasikin dan Makhdiyanti, 2003).

Sintesis zeolit-A dari abu dasar batubara dengan pemisahan Fe dan Ca yang telah dilakukan oleh Kurniawan (2017). Pemisahan kandungan Fe dan Ca pada abu dasar batubara pada penelitian tersebut dilakukan menggunakan magnet ferrit dan larutan HCl 12 M, kemudian abu dasar batubara dan NaOH yang sudah digerus, dicampurkan dengan perbandingan massa NaOH/Abu dasar = 1,2. Campuran kemudian dipanaskan pada suhu 750 °C dalam waktu tertentu dalam *muffle furnace*. Setelah peleburan campuran didinginkan, digerus dan dibuat suspensi dengan penambahan air demineralisasi, campuran hasil peleburan diaduk dan dilakukan pemeraman (*aging*) selama 2 jam pada suhu kamar. Campuran yang telah diperam, selanjutnya disaring dan diambil ekstrak supernatannya sebagai larutan sumber Si dan Al. Ekstrak tersebut

kemudian dibuat *slurry* berkomposisi molar relatif $\text{Al}_2\text{O}_3:1,926 \text{ SiO}_2$ dengan penambahan larutan $\text{NaAlO}_2\text{-NaOH}$ sebagai sumber Al untuk mengatur rasio molar Si/Al yang sesuai untuk sintesis zeolit Na-A. Kemudian kristalisasi hidrotermal dilakukan pada suhu 100°C selama 12 jam. Setelah perlakuan hidrotermal, padatan hasil kristalisasi dipisahkan dari filtratnya, dicuci dengan air demineralisasi sampai pH 9-10, dan dikeringkan pada suhu 105°C selama 24 jam.

Hasil karakterisasi menggunakan SEM, Zeolit-A yang disintesis melalui proses pemisahan Fe dan Ca memiliki bentuk kubik. Bentuk ini sama halnya dengan zeolit yang disintesis dari abu dasar pada penelitian sebelumnya, namun tanpa dilakukan pemisahan kandungan Fe dan Ca yang juga memiliki bentuk kubik (Yanti, 2009). Dari hasil SEM tersebut, juga dapat terlihat bahwa zeolit-A dengan pemisahan Fe dan Ca menghasilkan fasa kristal dengan struktur geometri kubik yang teratur serta tidak adanya fasa lain seperti hidroksisodalit yang terbentuk seperti halnya proses sintesis zeolit dari abu dasar yang pernah dilaporkan oleh beberapa penelitian sebelumnya, sehingga kemurnian zeolit-A yang terbentuk cukup tinggi (Sallam, 2008).

3. *Particle Size Analyzer (PSA)*

Karakterisasi menggunakan PSA digunakan untuk mengetahui ukuran dan distribusi partikel dari suatu sampel. Keunggulan penggunaan *Particle Size Analyzer (PSA)* untuk mengetahui ukuran partikel :

1. Pengukuran partikel dengan menggunakan PSA lebih akurat jika dibandingkan dengan pengukuran partikel dengan alat lain seperti XRD

- ataupun SEM. Hal ini dikarenakan partikel didispersikan ke dalam media sehingga ukuran partikel yang terukur adalah ukuran dari *single* partikel
2. Hasil pengukuran dalam bentuk distribusi, sehingga dapat menggambarkan keseluruhan kondisi sampel
 3. Rentang pengukuran dari 0,6 nm- 7 μ m.

Berdasarkan hasil sintesis zeolit-A menggunakan silika sekam padi (Hermayana, 2017). Sebanyak 40 gram NaOH dilarutkan kedalam 100 mL air, kemudian larutan dibagi menjadi dua bagian. Pada bagian pertama dimasukkan 60 gram silika dan pada bagian kedua dimasukkan 27 gram logam aluminium. Setelah silika dan logam aluminium larut kemudian dicampur menggunakan blender. Selanjutnya zeolit A yang telah tercampur dikeringkan di dalam oven pada suhu 90 °C selama 24 jam, setelah kering zeolit kemudian dihaluskan menggunakan mortar. Kemudian zeolit dikalsinasi pada suhu 600, 700, 800, dan 900 °C untuk melihat aktivitasnya sebagai katalis. Selanjutnya dikarakterisasi menggunakan PSA untuk melihat distribusi ukuran partikel dari zeolit-A tersebut.

Zeolit-A 600 °C memiliki selisih rentang diameter partikel sebesar 73,03 dengan persen relatif 49,60%, sedangkan kelompok partikel yang ke-2 memiliki selisih rentang diameter partikel sebesar 353 nm dengan persen relatif 50,40%. Untuk katalis zeolit-A 700 °C yang terdiri atas tiga kelompok partikel, kelompok partikel-1 memiliki selisih rentang diameter sebesar 26,1 nm dengan persen relatif 6,1% sedangkan kelompok partikel ke-2 memiliki selisih rentang diameter partikel sebesar 63,63 nm dengan persen relatif 31%,

dan kelompok partikel-3 memiliki selisih rentang diameter sebesar 336,3 nm dengan persen relatif 33%.

Untuk katalis zeolit-A 800°C terdiri atas dua kelompok partikel, kelompok partikel-1 memiliki selisih rentang diameter sebesar 40,98 nm dengan persen relatif 28,20% sedangkan kelompok partikel ke-2 memiliki selisih rentang diameter partikel sebesar 216,48 nm dengan persen relatif 71,80%. Untuk katalis zeolit-A 900 °C yang terdiri atas dua kelompok partikel, kelompok partikel-1 memiliki selisih rentang diameter sebesar 78,58 nm dengan persen relatif 50,50% sedangkan kelompok partikel ke-2 memiliki selisih rentang diameter partikel sebesar 408,8 nm dengan persen relatif 49,50%.

4. *Fourier Transform InfraRed (FTIR)*

FTIR merupakan suatu teknik analisis yang digunakan untuk melihat atom-atom dalam sebuah molekul melalui vibrasi-vibrasi yang ditimbulkan oleh atom tersebut. Untuk dapat melihat atom-atom tersebut diperlukan suatu spektrum IR yang diperoleh dengan cara menembakkan radiasi sinar infra merah ke sampel menentukan fraksi apa yang terjadi saat melewati radiasi yang terabsorpsi dengan energi khusus. Energi yang terdapat pada beberapa puncak dalam sebuah spektrum absorpsi menunjukkan kecocokan terhadap frekuensi pada vibrasi dari sebagian molekul sampel (Ayyad, 2011).

Prinsip dasar dari analisis spektrofotometri IR adalah penyerapan radiasi elektromagnetik oleh gugus-gugus fungsi tertentu, sehingga dari spektrum serapan yang terbaca kita mampu mengetahui gugus fungsi apa saja yang terdapat pada suatu senyawa. Bila sinar inframerah dilewatkan melalui sebuah

cuplikan, maka sejumlah frekuensi diserap oleh cuplikan tersebut dan frekuensi lainnya diteruskan atau ditransmisikan tanpa adanya penyerapan. Hubungan antara persen absorbansi dengan frekuensi maka akan dihasilkan sebuah spektrum inframerah (Hardjono, 1990).

Analisis dengan FTIR untuk sampel komposit anorganik pada umumnya dimaksudkan untuk melihat gugus fungsi yang terkait dengan penyusunan sampel. Untuk zeolit, gugus fungsi yang dapat dideteksi dengan FTIR adalah pita serapan melebar dengan intensitas kuat pada daerah $1095\text{--}1092\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan karakteristik vibrasi gugus siloksan (Si—O—Si), pita serapan sekitar $420\text{--}494\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya gugus Si—O—Al. Pita serapan lainnya yang menunjukkan adanya vibrasi Al—O yaitu pada daerah $470\text{--}480\text{ cm}^{-1}$. Bilangan gelombang 3300 cm^{-1} terdapat pita serapan gugus fungsi OH dari molekul air. Pada pita serapan sekitar 3400 cm^{-1} tersebut terjadi tumpang tindih pada pita serapan dari *stretching* asimetris dan simetris pada molekul air. Pita serapan yang lebar pada panjang gelombang tersebut disebabkan oleh adanya hidrat dan molekul air yang berikatan langsung dengan kation penyeimbang.

Sintesis zeolit-A (Saraswati, 2015) dilakukan mencampurkan larutan natrium silikat dan natrium aluminat disertai pengadukan membentuk gel berwarna putih. Pembentukan gel ini memperlihatkan adanya interaksi yang kuat antara silikat dan aluminat. Terbentuknya gel berwarna putih ini merupakan awal dari pembentukan inti dan pertumbuhan kristal yang merupakan hal penting

dalam proses sintesis zeolit. Zeolit-A yang telah disintesis kemudian dianalisis dengan FT-IR.

Hasil analisis FTIR dapat diidentifikasi gugus fungsi yang terdapat dalam sampel zeolit A tersebut. Zeolit secara umum mempunyai daerah serapan inframerah yang karakteristik disekitar panjang gelombang $300\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$. Daerah serapan sekitar $1000\text{--}950\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi ulur asimetri dari Si—O dan Al—O dari kerangka aluminosilikat. Serapan pada daerah ini ditunjukkan oleh zeolit hasil sintesis. Vibrasi ulur simetri Si—O dan Al—O muncul pada daerah serapan sekitar $600\text{--}700\text{ cm}^{-1}$. Pada standar spektra inframerah zeolit-A menunjukkan dua puncak, sedangkan pada sampel ZA hanya menunjukkan satu puncak saja. Hal ini terjadi karena keberadaan senyawa lain selain zeolit-A dalam sampel tersebut.

Salah satu karakter zeolit adalah memiliki *double ring* yang ditunjukkan dengan munculnya serapan pada daerah $600\text{--}550\text{ cm}^{-1}$. Pada struktur zeolit terdapat jalinan internal dan jalinan eksternal. *Double ring* ini merupakan jalinan eksternal antara lapisan zeolit satu dengan lainnya. Vibrasi tekuk dari Si—O dan Al—O pada kerangka aluminosilikat pada zeolit muncul pada daerah serapan sekitar 400 cm^{-1} . Adanya vibrasi ulur dan vibrasi tekuk dari Si—O dan Al—O menunjukkan telah terbentuknya kerangka aluminosilikat pada zeolit-A hasil sintesis tersebut.

Secara khusus, FTIR dapat menunjukkan adanya situs asam Bronsted atau Lewis yang terdapat dalam sampel. Adanya situs asam Bronsted ditunjukkan oleh pita serapan pada bilangan gelombang sekitar $1540\text{--}1545\text{ cm}^{-1}$,

sedangkan situs asam Lewis ditunjukkan oleh pita serapan pada bilangan gelombang sekitar $1440\text{-}1452\text{ cm}^{-1}$ (Platon and Thomson, 2003).

K. Analisis Bahan Bakar Cair

1. Analisis *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS)

GC-MS merupakan suatu metode gabungan dari kromatografi gas dan spektrometri massa. Kromatografi gas berfungsi untuk memisahkan komponen-komponen sampel dan spektrometri massa sebagai detektor, yang akan memberi informasi tentang bobot molekul dan fragmen molekul sesuai dengan struktur komponen yang terdeteksi oleh MS.

Prinsip kerja dari GC-MS yaitu molekul – molekul gas bermuatan akan diseleksi berdasarkan massa dan beratnya, spektrum yang didapat dari pengubahan sampel menjadi ion – ion yang bergerak, kemudian dipisahkan berdasarkan perbandingan massa terhadap muatan (m/e). Ionisasi menghasilkan fragmen – fragmen yang akan menghasilkan spektrum.

Spektrum massa merupakan gambar antara limpahan relatif dengan perbandingan massa per muatan (m/e) (McLafferty, 1988). Spektra massa disajikan dari puncak-puncak utama yang diperoleh dengan memuat harga massa per muatan (m/e) terhadap kelimpahan relatif. Kelimpahan tersebut disebut puncak dasar (*base peak*) dari spektra dan dinyatakan sebagai 100%, yang menunjukkan bobot molekul senyawa. Puncak – puncak lain, yang secara umum dikenal sebagai fragmen molekul, memiliki harga relatif terhadap puncak dasar. Dengan data tersebut maka dapat diperkirakan

bagaimana struktur molekul dari senyawa yang dianalisis (Cresswell *et al.*, 1982).

2. Karakteristik Fisik

Selain komponen kimia, kelayakan bahan bakar cair juga dianalisis berdasarkan beberapa parameter fisik. Berdasarkan standar *Engineers Edge* 2000-2019, beberapa parameter fisik sebagai acuan kelayakan bahan bakar cair untuk digunakan adalah densitas, viskositas, angka setana, dan titik nyala.

a. Densitas

Pengertian, kaitan dengan bahan bakar, cara pengukuran, standar. Densitas adalah perbandingan antara berat persatuan volume minyak solar.

Karakteristik ini sangat berhubungan erat dengan nilai panas kalor dan daya yang dihasilkan oleh mesin diesel per satuan bahan bakar yang digunakan.

Cara pengukuran densitas dapat dilakukan dengan menggunakan piknometer.

Densitas yang disarankan untuk bahan bakar cair berdasarkan standar

Engineers Edge 2000-2019 yaitu 0,71-0,74 g/mL.

b. Viskositas

Viskositas adalah suatu nilai yang menyatakan besarnya hambatan aliran suatu bahan cair. Viskositas disebabkan adanya gaya kohesi atau gaya tarik menarik antara molekul sejenis. Pengukuran viskositas suatu cairan dapat dilakukan dengan beberapa metode antara lain, metode bola jatuh, silinder konsentrik, metode *plate and cone*, piringan sejajar, dan metode kapilaritas (Hananto, 2011). Semakin tinggi viskositas, makin kental maka semakin sukar bahan cair untuk mengalir (Wardan dan Zainal, 2003). Viskositas merupakan

parameter penting dalam menentukan baku mutu suatu bahan bakar.

Viskositas yang disarankan untuk bahan bakar cair berdasarkan standar *Engineers Edge* 2000-2019 yaitu maksimum $0,88 \text{ mm}^2/\text{s}$ (cSt).

c. Titik Nyala (*Flash Point*)

Titik nyala merupakan suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak dimana akan timbul sebuah nyala api sesaat, apabila pada permukaan minyak didekatkan pada nyala api. Titik nyala sangat diperlukan sehubungan dengan adanya pertimbangan-pertimbangan mengenai keamanan dari penimbunan minyak dan pengangkutan bahan bakar minyak terhadap bahaya kebakaran. Titik nyala yang disarankan untuk bahan bakar cair berdasarkan standar *Engineers Edge* 2000-2019 yaitu maksimal 100°C .

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini telah dilakukan di Laboratorium Kimia Polimer, Jurusan Kimia FMIPA, Universitas Lampung, pada Januari hingga April 2019.

Karakterisasi zeolit-A menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan di Badan Tenaga Nuklir Nasional, *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung, *Particle Size Analyzer* (PSA) dilakukan di Laboratorium Sentral Universitas Padjajaran, dan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Islam Indonesia.

Analisis biomassa eceng gondok menggunakan DTA/TGA dilakukan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung. Analisis bahan bakar cair menggunakan *Gas Chromathography-Mass Spectrometry* (GC-MS) dilakukan di Laboratorium Kimia Organik FMIPA Universitas Gajah Mada. Uji kualitas titik nyala telah dilakukan di SMK SMTI Bandar Lampung, densitas dan viskositas dilakukan di Laboratorium Kimia Dasar, FMIPA, Universitas Lampung.

B. Alat dan Bahan

1. Alat-Alat yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu alat pirolisis, kompor, oven, teflon, toples, peralatan gelas, neraca analitik, alat penggiling, tanur, blender, *Particle Size Analyzer* (PSA), *Scanning Electron Microscope* (SEM), *Fourier Transform InfraRed* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD), DTA/TGA dan *Gas Chromathography-Mass Spectrometry* (GC-MS).

2. Bahan-Bahan yang Digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu eceng gondok, aluminium foil, sekam padi, larutan NaOH 1,5%, NaOH padat, larutan HNO₃ 1M, tempurung kelapa, akuades, kertas saring, dan indikator universal.

C. Prosedur Kerja

1. Pembuatan Asap Cair

Tempurung kelapa dijemur lalu dihancurkan hingga berukuran kecil. Setelah itu dimasukkan ke dalam reaktor curah dan dipirolisis dengan suhu 450 °C selama 3 jam. Produk yang dihasilkan berupa asap cair *grade 3* dan ditampung di dalam botol kemudian hasil tersebut didestilasi menjadi *grade 2* yang akan digunakan untuk pembentukan gel silika pada proses ekstraksi silika menggunakan metode sol-gel.

2. Preparasi Sekam Padi

Pada tahap awal ini sekam padi yang tidak lagi digunakan (limbah) diayak hingga terbebas dari kotoran yang memiliki ukuran kecil lalu sekam padi dicuci dengan air panas beberapa kali agar senyawa organik yang larut dengan air terbuang bersama kotoran pada sekam padi dan juga berfungsi untuk memisahkan sekam padi yang mengandung banyak silika dengan yang mengandung sedikit silika (sekam padi yang tenggelam diambil karena mengandung banyak silika sedangkan sekam padi yang mengapung dibuang karena mengandung sedikit silika) kemudian sekam padi dikeringkan dengan cara dijemur. Selanjutnya sekam padi direndam dengan HNO_3 1M selama 24 jam berfungsi untuk menghilangkan senyawa oksida lain yang larut dalam asam pada sekam padi, lalu dibilas dengan air biasa hingga pH 7 (netral) dan tidak berbau asam kemudian dijemur hingga kering sebelum diekstraksi.

3. Ekstraksi Silika Sekam Padi

Metode ekstraksi silika sekam padi yang digunakan pada penelitian ini merupakan metode sol-gel. Sebanyak 200 gram sekam padi direndam dalam 2000 mL larutan NaOH 1,5% lalu dipanaskan dan dibiarkan mendidih selama 30 menit. Campuran tersebut kemudian didinginkan pada suhu kamar (25 °C) dan didiamkan selama 12 jam. Kemudian, campuran tersebut disaring dan filtrat yang mengandung silika terlarut (sol silika) ditampung. Untuk mengendapkan silika pada filtrat maka ditambahkan asap cair secara bertahap hingga sol silika berubah menjadi gel dengan pH 7 (netral). Sol silika yang telah ditambah asap cair *grade 2* kemudian didiamkan selama 24 jam pada suhu kamar agar terbentuk gel silika. Selanjutnya gel silika dicuci dengan

akuades panas hingga berwarna putih bersih dan disaring dengan menggunakan saringan *mesh*. Silika yang diperoleh kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 80 °C hingga silika kering. Setelah itu silika kering dihaluskan dan disaring menggunakan saringan *mesh* agar mendapatkan silika yang benar-benar halus.

4. Pembuatan Zeolit-A

Sebanyak 40 gram NaOH padat dilarutkan dalam 200 mL akuades kemudian larutan NaOH dibagi menjadi dua bagian:

1. Larutan NaOH pertama digunakan untuk melarutkan 60 gram silika dari sekam padi.
2. Larutan NaOH kedua digunakan untuk melarutkan 27 gram aluminium dari aluminium foil.

Kedua larutan tersebut kemudian dicampurkan lalu diaduk hingga homogen. Zeolit-A dikristalisasi di dalam oven selama 72, 96, dan 120 jam kemudian dikeringkan dalam oven hingga kering setelah itu dihaluskan dan disaring dengan saringan *mesh*. Selanjutnya zeolit-A yang telah halus di tanur pada suhu 550 °C selama 6 jam lalu disaring kembali. Hasil kristalisasi tersebut disimbolkan dengan Z72, Z96, dan Z120.

5. Karakterisasi Sampel

a. *X-Ray Diffraction (XRD)*

Karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)* dilakukan untuk mengetahui fasa dan untuk menentukan sifat kristal atau kristalinitas dari sampel. Langkah–langkah menggunakan XRD adalah sebagai berikut :

1. Sampel disiapkan dan direkatkan pada kaca, kemudian dipasang pada tempatnya yang berupa lempeng tipis berbentuk persegi panjang (sampel *holder*) dengan bantuan lilin perekat.
2. Sampel yang disimpan dipasang pada sampel *holder* kemudian diletakan pada sampel *stand* di bagian goniometer.
3. Parameter pengukuran dimasukan pada *software* melalui komputer pengontrol meliputi penentuan *scan mode*, penentuan rentang sudut, kecepatan *scan* cuplikan, memberi nama cuplikan dan memberi nomer urut file data.
4. Alat difraktometer dioperasikan dengan perintah “*start*” pada menu komputer, dimana sinar-X akan meradiasi sampel yang terpancar dari target Cu dengan panjang gelombang 1,5406 Å.
5. Hasil difraksi dapat dilihat pada komputer dan intensitas difraksi pada sudut 2θ tertentu dan dapat dicetak oleh mesin printer.
6. Sampel dari sampel *holder* diambil setelah pengukuran cuplikan selesai.

b. *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

Analisis menggunakan *Scanning Electron Microscope (SEM)* digunakan untuk memberikan informasi tentang morfologi permukaan sampel. Adapun langkah – langkah dalam uji SEM ini adalah sebagai berikut :

1. Sampel disiapkan dan direkatkan pada mesin *holder (Dolite, double sticy tape)*.
2. Sampel yang telah dipasang pada *holder* kemudian dibersihkan dengan *Hand Blower*.
3. Sampel dimasukkan dalam mesin *couting* untuk diberi lapisan tipis yang berupa *gold-poladinum* selama 4 menit sehingga menghasilkan lapisan degan ketebalan 200-400 Å.
4. Sampel dimasukan ke dalam *Specimen Chamber*.
5. Pengamatan gambar pada *layer SEM* dengan mengatur pembesaran.
6. Penentuan spot untuk analisis pada *layer SEM*.
7. Pemotretan gambar SEM.

c. *Particle Size Analyzer (PSA)*

Karakterisasi menggunakan *Particle Size Analyzer (PSA)* untuk mengetahui ukuran dan distribusi partikel dari suatu sampel. PSA merupakan salah satu instrumen nanoteknologi yang menggunakan *Laser Diffraction (LAS)* dalam aplikasinya. Metode ini juga dikenal sebagai *Quasi-Elastic Light Scattering (QELS)*. Alat ini berbasis *Photon Correlation Spectroscopy (PCS)*. PSA menggunakan metode LAS dibagi menjadi 2 metode aplikasi sebagai berikut :

1. Metode basah. Metode ini menggunakan media pendispersi untuk mendispersikan material uji.
2. Metode kering. Metode ini memanfaatkan udara atau aliran udara untuk melarutkan partikel dan membawanya ke *sensing zone*. Metode ini baik digunakan untuk ukuran yang kasar, dimana hubungan antartikel lemah dan kemungkinan untuk beraglomerasi kecil.

d. *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

Analisis *Fourier Transform InfraRed* (FTIR) digunakan untuk mengidentifikasi gugus-gugus fungsi dari sampel. Langkah–langkah yang dilakukan untuk uji ini adalah sebagai berikut :

1. Disiapkan sampel yang akan diuji, kemudian diletakkan sampel pada sampel *holder* dan ditempatkan pada lintasan sinar alat FTIR.
2. Alat disambungkan pada sumber listrik, lalu komputer dan alat dihidupkan.
3. Dilakukan pengukuran dengan alat FTIR dan grafik yang terbentuk diamati.
4. Data yang dihasilkan disimpan dan dilakukan pembahasan terhadap puncak-puncak yang terbentuk.
5. Komputer dan alat FTIR dimatikan dan dilepas dari sumber arus listriknya

6. Preparasi Sampel Eceng Gondok

Eceng gondok dicuci hingga bersih lalu dicacah hingga memiliki ukuran yang kecil kemudian dijemur hingga kering. Eceng gondok kering dihaluskan dengan alat penggiling.

7. Percobaan Pirolisis

Percobaan pirolisis dilakukan dengan reaktor curah. Eceng gondok kering yang telah digiling kemudian dicampurkan dengan minyak kelapa sawit lalu dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis lalu ditambahkan katalis zeolit-A sebanyak 10% dari jumlah bahan biomassa, pada penelitian ini eceng gondok kering yang dipirolisis sebanyak 100 gram dan ditambahkan 300 mL minyak kelapa sawit serta zeolit-A sebanyak 10 gram. Kemudian dipirolisis pada suhu optimum perengkahan eceng gondok yang telah analisis menggunakan alat DTA/TGA yaitu selama 3 jam. Produk cair yang keluar dari reaktor ditampung pada botol yang selanjutnya akan dipisahkan antara produk fasa atas (minyak) dan fasa bawah (air). Kemudian fasa atas (minyak) dianalisis menggunakan GC-MS. Berdasarkan analisis tersebut bahan bakar cair atau fasa atas yang memiliki kandungan hidrokarbon paling banyak selanjutnya dilakukan destilasi bertingkat untuk mendapatkan biogasolin, kemudian dilakukan analisis menggunakan GC-MS.

8. Analisis Bahan Bakar Cair

Karakterisasi bahan bakar cair menggunakan *Gas Chromatogtap-Mass Spectrometry* (GC-MS) dilakukan untuk mengidentifikasi komponen-komponen penyusun sampel dan uji fisik sebagai acuan kelayakan bahan bakar cair adalah densitas, viskositas, dan titik nyala (*flash point*).

a. Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (GC-MS)

Produk yang dihasilkan dari uji perengkahan dianalisis dengan menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectroscopy* (GC-MS). Analisis ini dilakukan untuk mengidentifikasi komponen dalam produk, dan secara khusus untuk melihat apakah senyawa-senyawa dalam sampel mampu diubah menjadi hidrokarbon. Langkah-langkah penggunaan GC-MS sebagai berikut :

1. Transformator/*power supply* dinyalakan, kemudian tombol *on* ditekan pada alat GC-MS, berturut-turut untuk *power* pada *Ion Gauge* (I.G.), MS, dan GC. Gas He dialirkan, dan dihidupkan pula komputer, monitor, dan printer.
2. Dipilih menu *Class-5000*, klik *vacuum control*, dan *auto start up* dijalankan.
3. GC-MS monitor diaktifkan, set temperatur injektor, kolom, dan detektor. Kemudian ditunggu hingga tekanan vakum di bawah 5 kPa.
4. *Tuning* diaktifkan, diklik *auto tune*, *load method* yang digunakan, kemudian klik *start* dan ditunggu beberapa saat sampai hasilnya tercetak, setelah selesai klik *close tuning*.
5. *Method development* diaktifkan, set GC parameter, set MS parameter, *save* metode yang telah dideskripsikan, kemudian klik *exit*.
6. *Real time analysis* diaktifkan, dipilih parameter *single sample*, kemudian diisi dengan deskripsi yang diinginkan.
7. Dilakukan *send parameter*, tunggu sampai GC dan MS siap, kemudian dilakukan injeksi sampel.
8. *Post run analysis* diaktifkan, kemudian pilih *browser* untuk analisis sampel secara kualitatif.

9. Dilakukan pengaturan *peak top comment (peak label)*, dan reintegrasi *load file* yang dianalisa. Kemudian dipilih *display spectrum search* pada puncak tertentu dan dilakukan *report* pada bagian yang diinginkan.
10. Untuk mengakhiri, temperatur injektor, kolom dan detektor pada GC-MS monitor didinginkan sampai temperatur ruangan (30 °C). Bila sudah tercapai, *vacuum control* diklik dan dilakukan *auto shut down*. Perangkat alat dimatikan dengan urutan : komputer, GC, MS, IG, dan gas He.

b. Densitas

Penentuan densitas dilakukan berdasarkan prinsip kerja yaitu perbandingan massa sampel tanpa udara pada suhu dan volume tertentu dengan massa air pada suhu dan volume yang sama. Langkah-langkah untuk analisis intensitas bahan bakar cair adalah sebagai berikut:

1. Piknometer kosong dikeringkan di dalam oven kemudian ditimbang terlebih dahulu.
2. Lalu piknometer diisi dengan sampel kemudian ditimbang kembali, berat sampel sama dengan selisih antara piknometer kosong dengan piknometer yang berisi sampel.
3. Densitas sampel kemudian dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\rho = \frac{W_2 - W_1}{V}$$

Keterangan:

ρ : densitas sampel (g/mL),

W1: berat piknometer kosong (g)

W2 : berat piknometer yang diisi dengan sampel (g),

V : volume piknometer (mL)

c. Viskositas

Viskositas diukur untuk mengetahui kekentalan suatu sampel. Dalam penelitian ini viskositas yang digunakan adalah Viskometer Ostwald.

Langkah-langkah dalam analisis viskositas adalah sebagai berikut:

1. Viskometer Ostwald yang digunakan terlebih dahulu dicuci dan dikeringkan dalam oven pada suhu 100 °C.
2. Viskometer diisi dengan sampel pada suhu kamar.
3. Pada kondisi viskometer telah mencapai kondisi yang diinginkan maka ketinggian sampel dengan kapiler disesuaikan dengan menggunakan pompa hisap hingga melebihi sedikit garis batas.
4. Sampel kemudian dibiarkan turun serta dihitung waktu sampai tanda batas.
5. Waktu yang diukur adalah waktu miniskus untuk melewati dari sasaran pertama menuju waktu sasaran kedua.
6. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali.

d. Titik Nyala (*Flash Point*)

Langkah-langkah untuk analisis *flash point* bahan bakar cair adalah sebagai berikut:

1. Cawan dibersihkan dan dikeringkan sebelum digunakan.
2. Sampel dimasukkan ke dalam cawan hingga batas yang telah ditentukan.

3. Selanjutnya cawan dipanaskan dengan bunsen dan pada bibir cawan di bakar perlahan sambil diukur temperatur sampel.
4. Proses ini dilakukan hingga muncul nyala api pada sampel.
5. Setelah muncul nyala, temperatur sampel dicatat sebagai titik nyala sampel.

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Penelitian ini telah berhasil mensintesis zeolit-A serta mengetahui waktu optimum untuk kristalisasi zeolit-A yaitu 96 jam.
2. Hasil karakterisasi menggunakan XRD pada Z72 dan Z96 diketahui bahwa terdapat 2 fasa kristalin yaitu fasa zeolit-A dan fasa sodalit serta 1 fasa amorf, sedangkan pada Z120 hanya terdapat 1 fasa kristalin yaitu fasa sodalit serta 1 fasa amorf.
3. Hasil karakterisasi menggunakan SEM pada Z72 dan Z96 terlihat bentuk kubus yang menunjukkan adanya zeolit-A dan bentuk seperti jarum yang menunjukkan adanya sodalit serta masih terdapat amorf yang terlihat seperti gumpalan tidak teratur. Sedangkan pada Z120 hanya terlihat bentuk jarum dan gumpalan tidak teratur.
4. Hasil karakterisasi menggunakan PSA pada Z72 dan Z96 menunjukkan bahwa kedua sampel memiliki 3 kelompok berdasarkan distribusi ukuran partikelnya, sedangkan pada Z120 hanya terdapat 2

kelompok. Ketiga sampel tersebut termasuk dalam material heterogen karena memiliki kelompok dalam distribusi ukuran partikelnya.

5. Hasil karakterisasi menggunakan FT-IR pada Z96 dan Z120 menunjukkan bahwa tidak adanya perbedaan gugus fungsi pada kedua sampel.
6. Hasil analisis GC-MS bahan bakar cair menunjukkan jumlah relatif senyawa hidrokarbon sebesar 94,79% dalam penggunaan katalis Z72, 99,14% dalam penggunaan katalis Z96, dan 98,93% dalam penggunaan katalis Z120.
7. Hasil analisis GC-MS fraksi ringan dari bahan bakar cair dalam penggunaan katalis Z96 menunjukkan bahwa terdapat komponen penyusun biogasolin yaitu hidrokarbon (C_6-C_{14}) sebesar 100%.
8. Hasil uji fisik fraksi ringan menunjukkan biogasolin yang dihasilkan belum memenuhi standar *Engineers Edge* dan standar Kementerian ESDM.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, terdapat beberapa saran untuk kelanjutan penelitian ini diantaranya adalah:

1. Melakukan pengembangan metode dalam mensintesis zeolit-A.
2. Melakukan pengembangan pada alat pirolisis agar dapat menghasilkan produk cair yang maksimal.

3. Melakukan pengembangan dalam fraksinasi bahan bakar cair agar didapatkan biogasolin yang sesuai dengan standar serta layak untuk diaplikasikan secara langsung.
4. Melakukan pengujian *cetana number* untuk mengetahui kelayakan biogasolin.

DAFTAR PUSTAKA

- Aguado, J. 2007. Feedstock Recycling of Polyethylene in A Two Step Thermocatalytic Reaction System. *Journal Application Pyrolysis*. Vol. 79: 415–423.
- Alkan, M., C. Hopa., Yilmas, and H. Guler. 2005. The Effect of Alkali Concentration and Solid/Liquid Ratio on The Hydrothermal Synthesis of Zeolite NaA from Natural Kaolinate. *Microporous and Macroporous Material*. Vol. 86:176-184.
- Aristiani, V. 2015. *Preparasi Katalis CaO/SiO₂ dari CaCO₃ dan Silika Sekam Padi dengan Metode Sol Gel Untuk Pengolahan Minyak Kelapa Sawit Menjadi Biodiesel*. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung. 66 hlm.
- Arnata, I. W. dan A. A. M. D. Anggraeni. 2013. Rekayasa Bioproses Produksi Bioetanol dari Ubi Kayu Dengan Teknik Ko-Kultur Ragi Tape dan *Saccaromycess cerevisiae*. *Agro Industri Teknologi*. Vol. 7: 21-28.
- Arnelli., B. Y. Fathoni., T. Iman., A. Suseno, and Y. Astuti. 2018. Synthesis of Zeolite from Bagasse and Rice Husk Ashes as Surfactant Builder on Detergency Process ; Variation of NaOH Concentration for Silica Isolation. *Journal of Scientific and Applied Chemistry*. Vol 23: 139-143.
- Astuti, L. 2014. *Kajian Potensi Umbi Talas Taro sebagai Bahan Baku Alternatif untuk Industri Bioetanol*. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Auerbach, S.M., K.A. Carrado, and P.K. Dutta, 2003. *Handbook of Zeolite Science and Technology*. 1st Edn. M. Dekker. New York. USA. ISBN-10: 0824740203. 1184 pp.
- Ayyad, O. D. 2011. *Novel Strategies The Synthesis of Metal Nanoparticle and Nanostructure*. (Thesis). University de Barcelona. Barcelona.
- Baerlocher, C., W. M. Meier, and D. H. Meier. 2001. *Atlas of Zeolite Framework Types. 5th revised edition*. Structure Commission of the international Zeolite Association. Amsterdam.

- Badan Pusat Statistik (BPS). 2016. *Produksi padi menurut provinsi pada 2016*. Badan Pusat Statistika Indonesia. Jakarta.
- Balat, M., M. Balat., E. Kirtay, and H. Balat. 2009. Main Routes for The Thermo-Conversion of Biomass Into Fuels and Chemicals Part 1: Pyrolysis Systems. *Energy Conversion and Management*. Vol. 50: 3147-3157.
- Bali Herrera, A., S. J. Tellez-Luis, and J. A. Ramirez. 2003. Production of Xylose from Sorghum Straw Using Hydrochloric Acid. *Journal Cereal Science*. Vol. 37: 267-274.
- Barrer, R. M. 1982. Hydrothermal Chemistry Of Zeolites. *Academic Press*.
- Bhattacharya, A and P. Kumar. 2010, Water Hyacinth as a Potential Biofuel Crop, *Electronic Journal of Environmental and Agricultural Food Chemistry*. Vol. 9: 112-122.
- Breck, D. W. 1984. *Zeolite Molecular Sieves: Structure, Chemistry and Use*. 1st Edn., R.E. Krieger USA. 771 pp.
- Bridgewater, A. V. 1996. Production of High Grade Fuels and Chemicals from Catalytic Pyrolysis of Biomass. *Catalysis Today*. Vol. 29: 285-295.
- Bridgewater, A. V. and G.V.C. Peacocke. 2000. Fast Pyrolysis Processes of Biomass. *Renewable and Sustainable Energy Review*. Vol. 4: 1-73.
- Bridgewater, A. V., D. Meier, and D. Radlein. 1999. An Overview of Fast Pyrolysis of Biomass. *Organic Geochemistry*. Vol. 30: 1479-1493.
- Chanakya, H. N., S. Borgaonkar, G., Meena, and K.S. Jagadish. 1993. Solid Phase Biogas Production With Garbage or Water Hyacinth. *Bioresource Technology* Vol. 46: 227-231.
- Chhiti, Y. and M. Kemiha. 2013. Thermal Conversion of Biomass, Pyrolysis and Gasification. *The International Journal of Engineering and Science*. Vol. 2: 75-85.
- Chiaramonti, D., M. Bonini., E. Fratini., G. Tondi., K. Gartner., A. V. Bridgewater., H. P. Grimm., I. Soldaini., A. Webster, and Baglioni P. 2003. Development of Emulsions from Biomass Pyrolysis Liquid and Diesel and Their Use in Engines. *Biomass Bioenergy*. Vol. 25: 101–111.
- Collares, R. M., V. S. M. Luiza., M. B. Mariana., P. G. S. Nina., A. M. Marcio., A. B. Dilson, and M. T. Lisiane. 2012. Optimization of Enzymatic Hydrolysis of Cassava to Obtain Fermentable Sugars. *Journal of Zhejiang University- Science B (Biomedicine and Biotechnology)*. Vol. 13(7): 579-586.

- Cornelissen, T., Y. Yperman., G. Reggers., S. Schreurs, and R. Carleer. 2008. Flash Co-Pyrolysis of Biomass with Polylactic Acid. Part 1: Influence on Bio-Oil Yield and Heating Value. *Fuel*. Vol. 87: 1031-1041.
- Cresswell, C. J., A. O, Runquist, Campbel, dan M. Malcom. 1982. *Analisis Spektrum Senyawa Organik Edisi ke-2*. ITB Press. Bandung. 120-145 hlm.
- Darmadji, P. 1998. Aktivitas Antibakteri Asap Cair dari Berbagai-macam Limbah Pertanian. *Agri technology*. Vol. 16(4): 19-22.
- Demirbas, A. 2000. Conversion of Biomass Using Glycerine to Liquid Fuel for Blending Gasoline as Alternative Engine Fuel. *Energy Conversion and Management*. Vol. 41: 1741-1748.
- Demirbas, A. 2002. Partly Chemical Analysis of Liquid Fraction of Flash Pyrolysis Products from Biomass in the Presence of Sodium Carbonate. *Energy Conversion and Management*. Vol. 43: 1801-1809.
- Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi. 2013. *Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin 88 yang Dipasarkan di dalam Negeri*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta.
- Direktorat Jendral Perkebunan. 2017. *Statistika Pertanian 2017*. Kementerian Pertanian Republik Indonesia. Jakarta.
- Engineers Edge. 2019. *Fluid Characteristics Chart Table*. Engineers Edge. Georgia.
- Faizul, C. P., C. Abdullah., and B. Fazlul. 2013. Review of Extraction of Silica From Agricultural Waste Using Acid Leaching Treatment. *Advanced Materials Research*. Vol. 626: 997-1000.
- Food and Agriculture Organization. 2017. *Rice Market Monitor*. Food and Agriculture Organization of the United Nation. America.
- Georgiev, D., B. Bogdanov., K. Angelova., I. Markovska, and Y. Hristov. 2009. Synthetic Zeolites - Structure, Clasification, Current Trends In Zeolite Review. *Technical Studies*. Vol. 7: 1-5.
- Gerbono, A. dan A. Siregar. 2005. *Kerajinan Eceng Gondok*. Kanisius. Yogyakarta.
- Ghosh, S., M. P Henry, and R. W Christopher. 1984. Hemicellulose Conversion by Anaerobic Digestion. Institute of Gas Technology and United Gas Pipe Line Company. USA. *Biomass*. Vol. 6: 257-258.

- Gougazeh, M. and J. Buhl. 2014. Synthesis and Characterization of Zeolite A By Hydrothermal Transformation of Natural Jordanian Kaolin. *Journal of The Association of Arab Universitas for Basic and Applied Science*. Vol. 15: 35-42.
- Gunawan, P. dan Sahwalita. 2007. *Pengolahan Enceng Gondok sebagai Bahan Baku Kertas Seni*. Prosiding Ekspose Hasil-hasil Penelitian. Padang.
- Gunnarsson, C. C and M. P. Cecilia. 2006. Water Hyacints as A Resource and Agriculture and Energy Production: A Literature. *Waste Management Review*. Vol. 27: 117-129.
- Guna, V., I. M. G. Manikandan., P. Anantha, and N. Reddy. 2017. *Water Hyacinth: A Unique Source for Sustainable Materials and Products*. Visvesvaraya Technological University. India.
- Haag, W. O., R. M. Lago, and P. B. Weisz. 1984. The Active Site Of Acidic Aluminosilicate Catalysts. *Nature*. Vol. 309: 589-591.
- Hananto, F. S., D.R. Santoso, and Julius. 2011. Application of Piezoelectric Material Film PVDF (Polyvenylidene Flouride) as Liquid Viscosity Sensor. *Journal of Neutrino*. Vol. 3 (2): 129-142.
- Hardjono, S. 1990. *Spektroskopi Inframerah*. Liberti. Yogyakarta. 146 hlm.
- Herawati, N., Rifdah, dan. M. Aditya Pratama. 2017. Pembuatan Biogasoline dari Limbah Ampas Tebu dan Eceng Gondok dengan Proses Thermal Catalytic. *Universitas Muhammadiyah Palembang*. Vol. 2(2): 15-22.
- Hermayana, R. 2017. *Pirolisis Campuran Bagas Tebu dan Minyak Biji Karet dengan Perbandingan Reaktan yang Berbeda Menjadi Bahan Bakar Cair Menggunakan Zeolit-A Berbasis Silika Sekam Padi Sebagai Katalis*. (Skripsi). MIPA, Universitas Lampung.
- Hidayat, S. 1993. *Peranan Eceng Gondok (Eirchornia Crassipes mart) dan Kangkung Air (Ipomoea Aquatica Poir) Terhadap Peningkatan Kualitas Air Limbah*. (Tesis). Program Studi Ilmu Tanaman, Ilmu Pertanian, Yogyakarta.
- Himawati, E. 2010. *Pengaruh Penambahan Asap Cair Tempurung Kelapa Destilasi dan Redestilasi Terhadap Sifat Kimia, Mikrobiologi, dan Sensoris Ikan Pindang Layang Selama Penyimpanan*. (Skripsi). Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Hsu, H. W. and B. S. Luh. 1980. *Rice Hull. From Rice Product and Utilization*. Editor: Bor Shiun Luh. New York.

- Hubber, G. W., S. Iborra, and A. Corma. 2006. Synthesis of Transportation Fuels from Biomass: Chemistry, Catalysts, and Engineering. *Journal Chemistry Reveiw*. Vol. 106: 4044-4098.
- Hums, E. 2017. Synthesis of Phase-Pure Zeolite Sodalite from Clear Solution Extracted from Coal Fly Ash. *Journal of Thermodynamics & Catalysis*. Vol. 8: 1-6.
- Indian Institute of Science. 2008. *Precipitated Silica From Rice Husk Ash IPSIT*. Precipitated Silica Technology. India.
- Jung, S., B. Kang, and J. Kim. 2008. Production of Bio-Oil from Rice Straw and Bamboo Sawdust Under Various Reaction Condition in Fast Pyrolysis Plant Equipped with a Fluidized Bed and a Char Separation System. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. Vol. 82: 240-247.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2017. *Laporan Kinerja Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi Tahun Anggaran 2017*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia. Jakarta.
- Ketaren, S. 2008. *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*. UI – Press. Jakarta.
- Kurniawan, R. dan N Widiastuti. 2017. Sintesis Zeolit-A dari Abu Dasar Batubara dengan Pemisahan Fe dan Ca. *Jurnal Sains dan Matematika*. Vol. 6(1): 2337-3520.
- Lee, J. D. 1991. *Concise Inorganic Chemistry*. Chapman and Hall. London.
- Leofanti, G., G. Tozzola., M. Padovan., G. Petrini., S. Bordiga, and A. Zecchina. 1997. Catalyst Characterization: Application. *Catalysis Today*. Vol. 34: 329-352.
- Lowell, S. and J. E. Shields. 1984. *Powder Surface Area and Porosity*.
- Londar, E., F. Hamzah, dan W. Nurul. 2010. Pengaruh Karbon Terhadap Pembentukan Zeolit dari Abu Dasar dengan Metode Hidrotermal Langsung. *Jurnal Kimia Institut Teknologi Surabaya*. FMIPA ITS. 1-13 hlm.
- Malik, A. 2006. Environmental Challenge Vis a Vis Opportunity: The Case of Water Hyacinth. *Environment International*. Vol. 33: 122-138.
- Masuda, T., Y. Kondo., M. Miwa., T. Shimotori., S. R. Mukai., K. Hasimoto., M. Takono., S. Kawasaki, and, S. Yoshida. 2001. Recovery of Useful Hydrocarbons from Oil Palm Waste Using ZrO₂ Supporting FeOH Catalyst. *Chemical Engineering Science*. Vol. 56: 897-904.

- McLafferty. 1988. *Interpretasi Spektra Massa*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Meliana, L. 2015. *Preparasi Katalis CaO/SiO₂ dari CaCO₃ dan Silika Sekam Padi dengan Metode Sol Gel Untuk Pengolahan Minyak Nabati Menjadi Biodiesel*. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung. 74 hlm.
- Mostafa, A. A., N. F. Youssef., M. H. Sorrouf., S. R. Tewfik, and H. F. Shalaan. 2011. Utilization of Egyptian Kaolin for Zeolite A Preparation and Performance Evaluation. *International Conference on Environmental and Computer Science*. Vol 6: 43-48.
- Nasikin, M. dan A. Makhdiyanti. 2003. Sintesis Metil Ester Sebagai Aditif Bahan Bakar Solar dari Minyak Sawit. *Jurnal Teknologi*. Vol. 1: 45-50.
- Nicolić, S., L. Mojovic., M. Rakin., P. Dušanka, and P. Jelena. 2010. Ultrasoundassisted Production of Bioethanol by Simultaneous Saccharification and Fermentation of Corn Meal. *Food Chemistry*. Vol. 122: 216-222.
- Padil, S. dan A. Amir. 2010. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Melalui Reaksi Metanolisis Menggunakan Katalis CaCO₃ yang Dipijarkan. *Natural Indonesia*. Vol. 13: 27-32.
- Pandiangan, K. D., N. Jamarun., S. Arief., W. Simanjuntak, and M. Rilyanti. 2016. The Effect of Calcination Temperatures on the Activity of CaO and CaO/SiO₂ Heterogeneous Catalyst for Transesterification of Rubber Seed Oil In the Presence of Coconut Oil as a Co-reactant. *Oriental Journal of Chemistry*. Vol. 32(6): 3021-3026.
- Pandiangan, K. D., S. Arief., N. Jamarun, and W. Simanjuntak. 2017. Synthesis of Zeolite-X from Rice Husk Silica and Aluminum Metal as a Catalyst for Transesterification of Palm Oil. *Journal of Materials and Environmental Science*. Vol. 8(5): 1797-1802.
- Prasetyoko, D. dan A. L. Putro. 2007. Abu Sekam Padi Sebagai Sumber Silika Pada Sintesis Zeolit ZSM-5 Tanpa Menggunakan Templat Organik. *Akta Kimia Indonesia*. Vol. 3: 33-36.
- Qi, Z., C. Jie., W. Tiejun, and X. Ying. 2007. Review of Biomass Pyrolysis Oil Properties and Upgrading Research. *Energy Conversion and Management*. Vol 48: 87-92.
- Rachmawaty, R., Metty M, dan Ir. Slamet Priyanto, M.S. 2013. *Sintesis Selulosa Diasetat Dari Eceng Gondok (Eichhornia crassipes) dan Potensinya Untuk Pembuatan Membran*. Universitas Diponegoro. Semarang.

- Richardson, J. T. 1989. *Principles of Catalyst Development*. Plenum Press. New York. 589 pp.
- Rios, C. A., C. D. Williams, and M. A. Fullen. 2009. Nucleation and Growth History of Zeolite LTA Synthesis from Kaolinite by Two Methods. *Applied Clay Science*. Vol. 42: 446-454.
- Sallam, M. 2006. Zeolite Synthesis from Municipal Solid Waste Ash using Fusion and Hydrothermal Treatment. *Graduate Theses and Dissertation*. Universitas South Florida.
- Saraswati, I. 2015. Zeolite-A Synthesis from Glass. *Jurnal Sains dan Matematika*. Vol. 23(4): 112-115.
- Sarno. 1983. *Endapan Zeolit Penggunaan dan sebarannya di Indonesia*. Direktorat Sumber daya Mineral Departemen Pertambangan dan Energi. Bandung.
- Sembiring, S., W. Simanjuntak., R. Situmeang, and A. Riyanto. 2016. Preparation of Refractory Cordierite Using Amorphous Rice Husk Silica for Thermal Insulation Purposes. *Ceramics International*. Vol. 42: 8431-8437.
- Schubert, U. and E. Housing. 2000. *Synthesis of Inorganic Materials*. Federal Republic of German. Wiley-VCH.
- Shankar, G. and G. Tondon. 1986. A Laboratory Study of Biogas Production from Water Hyacinth. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. Vol 1: 72-77.
- Sharma, A., V. Pareek, and D. Zhang. 2015. Biomass pyrolysis- A review of Modeling, Process Parameter and Catalytic Studies. *Renewable Sustain Energy Review*. Vol. 50: 1081-1096.
- Sharma, N. K., W. S. Williams, and A. Zangvil. 1984. Formation and Structure of Silicon Carbide Whiskers from Rice Hulls. *Journal of the American Ceramic Society*. Vol. 67: 715-720.
- Shilapour, A. and P. H. Smith. 1984. Conversion of Biomass Into Methane. *Biomass*. Vol. 6: 85-94.
- Shoeb, F. and H. J. Singh. 2002. Kinetic Studies of Biogas Evolved from Water Hyacinth, 2nd. *Symposium Environmental Agriculture*. 138 pp.
- Shirazian, S. and S. N. Ashrafizadeh. 2015. Synthesis of Substrate-modified LTA Zeolite Membranes for Dehydration of Natural Gas. *Fuel*. Vol. 148: 112-119.

- Simanjuntak, W., K. D. Pandiangan., Z. Sembiring, dan A. Simanjuntak. 2019. Liquid Fuel Production by Zeolite-A Catalyzed Pyrolysis of Mixed Cassava Solid Waste and Rubber Seed Oil. *Oriental Journal of Chemistry*. Vol. 35(1): 71-76.
- Simanjuntak, W., S. Sembiring., P. Manurung, and I. M. Low. 2013. Characteristics of Aluminosilicates Prepared From Rice Husk silica and Aluminum Metal. *Ceramics International*. Vol. 39(8): 9369-9375.
- Simanjuntak, W., S. Sembiring., K. D. Pandiangan., F. Syani and R.T.M. Situmeang. 2016. The Use of Liquid Smoke as a Substitute for Nitric Acid for Extraction of Amorphous Silica from Rice Husk Through Sol-Gel Route. *Oriental Journal of Chemistry*. Vol. 32: 2079-2025.
- Simanjuntak, W., S. Sembiring, and K. Sebayang. 2012. Effect of Pyrolysis Temperatures on Composition and Electrical Conductivity of Carbosil Prepared from Rice Husk. *Indonesian Journal Chemistry*. Vol. 12(2): 119-125.
- Siriluk, C. and S. Yuttapong. 2005. *Structure of Mesoporous MCM-41 Prepared from Rice Husk*. The 8th Asian Symposium on Visualization. Chiangmai. Thailand.
- Stojkovic., M. Radazic., M. Colic, and M. Poljak-Blazi. 2002. Immunostimulatory Effect of Natural Clinoptilolite as a Possible Mechanism of Its Antimetastatic Ability. *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology*. Vol. 128: 37-44.
- Suka, I. G., W. Simanjuntak., S. Sembiring, dan E. Trisnawati. 2008. Karakteristik Silika Sekam Padi dari Provinsi Lampung yang diperoleh dengan Metode Ekstraksi. *Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung*. Vol. 37: 47-52.
- Suka, I. G., A. Riyanto, dan S. Sembiring. 2009. Karakteristik Fungsionalitas Borosilikat Berbasis Sekam Padi Akibat Pengaruh Kalsinasi. *Prosiding SN SMAP 09*. 395-400 hlm.
- Teheruzzan, Q and D. P. Kushani. 1989. Evaluation of Some Aquatic Macrophytes Cultivated in Enriched Water as Possible Source of Protein and Biogas. *Hydromiological Bulletin*. Netherlands. Vol. 23: 207-212.
- Treacy, H. J. and J. B. Higgins. 2001. *Collections of Simulated XRD Powder Patterns for Zeolites, 4th Edition*. Structure Commission of the International Zeolite Association. Amsterdam. 379 pp.

- Twaiq, F. A., A. R. Mohamed, and S. Bhatia, 2003. Liquid Hydrocarbon Fuel from Palm Oil by Catalytic Cracking Over Aluminosilicate Mesoporous Catalysts with Various Si/Al Ratios. *Microporous and Mesoporous Materials*. Vol. 64: 95-107.
- Oster Foils. 2015. *Chemical Composition Limits of Aluminum Purity Grades & Alloys*. Oster. America.
- Venderbosch, R. H. and W. Prins. 2010. Review: Fast Pyrolysis Technology Development. *Biofuel*. Vol. 4: 178–208.
- Vitolo, S., B. Bresci, M. Seggiani, and G. M. Gallo. 2001. Catalytic Upgrading of Pyrolysis Oils Over HZSM-5 Zeolite: Behaviour of The Catalyst When Used in Repeated Upgrading-Regenerating Cycles. *Fuel*. Vol. 80: 17-26.
- Widajanti, W., R. Rizka, dan Melviana. 2007. *Studi Pengolahan Air Sirkulasi Proses Painting dengan Menggunakan Lumpur Aktif*. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Widowati, S. 2001. Pemafaatan Hasil Samping Penggilingan Padi Dalam Menunjang Sistem Agroindustri di Pedesaan. *Bulletin Agro-Bio*.
- Wijanarko. 2007. Pemanfaatan Sellulosa Bagas untuk Produksi Ethanol Melalui Sakarifikasi dan Fermentasi Serentak dengan Enzim Xylanase. *Makara Teknologi*. Vol. 11: 17-24.
- Wolfovich, M. A., M. V. Landau., A. Brenner, and M. Herskowitz. 2004. Indonesian. Engineering. *Chemistry Resource*. Vol. 43: 5089-5097.
- Yanti, Y. 2009. *Sintesis Zeolit A dan Zeolit Karbon Aktif dari Abu Dasar PLTU Paiton dengan Metode Peleburan*. (Tesis). Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Yulistiani, R. 2008. *Monograf Asap Cair sebagai Bahan Pengawet Alami pada Produk Daging dan Ikan, Cetakan Pertama, Edisi 1*. UPN Veteran. Surabaya.
- Zimmels, Y., F. A. Kirzhner, and Malkovskaja. 2005. Application of Eichhornia Crassipes and Pistia Stratiotes for Treatment of Urban Sewage in Israel. *Journal of Environmental Management*. Vol. 81: 420-428.